

超スマート社会における
情報教育カリキュラム標準の策定
に関する調査研究

[文部科学省先導的の大学改革推進委託事業]

平成 29 年度報告書

平成 30 年 3 月

一般社団法人 情報処理学会

「超スマート社会における
情報教育カリキュラム標準の策定
に関する調査研究」

事業実施統括委員会

目次

はしがき

研究の概要

はじめに

A部 情報教育カリキュラム標準の策定に関する
調査及び指針の策定

B部 情報学を専門とする学科対象の
教育カリキュラム標準の策定及び提言

C部 教養教育として必要な
情報教育カリキュラム標準の策定

D部 専門基礎教育段階に対する
情報教育カリキュラム標準の策定方策の提言

各部は、その先頭に色紙おいてによって区分けてしてある。

研究の概要

• 研究目的

この調査研究は、文部科学省先導的・大学改革推進委託事業「超スマート社会における情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査研究」として実施したものである。大学学部段階における情報学の専門教育の指標となっている「大学の理工系学部情報系学科のためのコンピュータサイエンス教育カリキュラム J97」や「情報専門学科カリキュラム J07」の内容を、最新の科学技術の進展や国際的動向、日本学術会議の策定した「大学の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 情報学分野」（情報学分野の参照基準）などを踏まえた新たなカリキュラム標準として見直す必要がある。本事業では、高等教育機関における情報学の専門教育の現状、国際的な動向、新たなカリキュラム標準に対する産業界の要望、などについて調査し、大学の情報系学部学科の教育の在り方、及び非情報系学部学科において共通的に求められる情報教育の在り方、について有識者による検討を行い、『新たなカリキュラム標準の体系案』について提言を得ることを目的としている。

• 研究組織

この調査研究は、教育担当理事を中心とする情報処理学会理事と情報処理教育委員会の委員長・J17WG 主査等からなる事業実施統括委員会が統括の下に行った。事業実施統括委員会の構成はつぎの通りである。

事業実施統括委員会

委員長	高岡 詠子	情報処理学会教育担当理事（上智大学）
副委員長	美馬 のゆり	情報処理学会教育担当理事（公立はこだて未来大学）
委員	萩谷 昌己	情報処理教育委員長（東京大学）
委員	浅井 光太郎	情報処理学会副会長（三菱電機(株)）
委員	今岡 仁	情報処理学会理事（NEC データサイエンス研究所）
委員	北村 操代	情報処理学会理事（三菱電機(株)情報技術総合研究所）
委員	鳥澤 健太郎	情報処理学会理事（情報通信研究機構）
委員	中川 八穂子	情報処理学会理事（(株)日立製作所）
委員	長谷川 輝之	情報処理学会理事（KDDI(株)）
委員	笥 捷彦	情報処理教育委員会 J17WG 主査（元早稲田大学）
委員	掛下 哲郎	海外動向調査 WG 主査（佐賀大学）
委員	角田 博保	CS 学科領域 WG 主査（元電気通信大学）
委員	寺田 真敏	サイバーセキュリティ(CyS) WG 主査（中央大学）

委員	中野 美由紀	データサイエンス(DS)WG 主査(産業技術大学院大学)
委員	佐渡 一広	教育認定(AC)WG 主査(群馬大学)
委員	稲垣 知宏	教養基礎教育段階(GE)WG 主査(広島大学)
委員	長尾 和彦	専門基礎教育段階(Eng)WG 主査(弓削商船高等専門学校)

事業の実施には、情報処理学会情報処理教育委員会の委員の多くがあたった。具体的には、下に示す通り、本事業の事業項目ごとに WG を設置して実作業を行った。WG の主査は、原則として情報処理教育委員会の委員であった。WG の委員は、その WG が担当する事業内容に該当する既設の教育関係委員会が存在している場合は、ほとんどがその該当委員会の委員であった。WG の委員リストは個別の調査研究の報告の中に記すこととし、ここでは WG とその主査だけを記す。

- (A) 情報教育カリキュラム標準の策定に関する、調査及び指針の策定
 - 海外動向調査 WG 主査 掛下 哲郎(佐賀大学)
- (B) 情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言
 - CS 学科領域 WG 主査 角田 博保(元電気通信大学)
 - IS 学科領域 WG 主査 富澤 眞樹(前橋工科大学)
 - CE 学科領域 WG 主査 岡部 忠(東海大学)
 - SE 学科領域 WG 主査 井上 克郎(大阪大学)
 - IT 学科領域 WG 主査 駒谷 昇一(奈良女子大学)
 - サイバーセキュリティ(CyS) WG 主査 寺田 真敏(中央大学)
 - データサイエンス(DS) WG 主査 中野 美由紀(産業技術大学院大学)
 - 教育認定(AC)WG 主査 佐渡 一広(群馬大学)
- (C) 教養教育として必要な情報教育カリキュラム標準の策定
 - 教養基礎教育段階(GE)WG 主査 稲垣 知宏(広島大学)
- (D) 専門基礎教育段階に対する情報教育カリキュラム標準の策定方策の提言
 - 専門基礎教育段階(Eng)WG 主査 長尾 和彦(弓削商船高等専門学校)

• 研究期間および経過

研究期間：受託日から平成 30 年 3 月末日まで

研究経過：

本研究調査は、WG の主査が担当作業の実施を主導して行った。

WG 相互の情報交換は、WG 間連絡会議を月に 1 回を目途としてつぎのとおりで開催した。このうち、括弧書きしたのは、委託事業開始に向けての準備会として開催したものである。

(11 月 24 日)、12 月 22 日、1 月 22 日、2 月 19 日

同じく月に 1 回を目途として事業実施統括委員会をつぎの通りに開催して、その期間の調査研究の進展について WG の報告を聴取するとともに、進捗の管理

運営にあたった。

(11月29日)、12月27日、1月22日、3月27日

3月13日9:30～12:00には、情報処理学会第80回全国大会の中で、「カリキュラム標準 J17 と情報教育」と題するシンポジウムを開催して、この委託事業によって策定を行った専門学科向けカリキュラム標準を中心にその内容を紹介し、産学両サイドの立場からの反応を聞き意見交換を行った。また、3月13日13:20～15:50には「新しい一般情報教育の知識体系」と題するシンポジウムを開催して、この委託事業によって策定を行った一般情報教育のカリキュラム標準の内容について、その知識体系を紹介するとともに、新たな一般情報教育をどのように進めていくのか、現状の課題と最新の動向、将来へ向けた産学の期待について意見交換を行った。また、3月15日の9:30～12:00には「ソウル協定と情報専門分野の認定」と題するシンポジウムを開き、この委託事業で行ったカリキュラム標準と教育認定での認定基準との相互比較結果について報告を行った。

また、文部科学省の担当者には、月1回を目途としてつぎの日取りで事業進捗の報告を行った。

12月27日、3月6日

● 本報告書の構成

本報告書の構成は、次の通りである。

各WGによる調査研究の報告を単位報告として、A部、B部、C部、D部の4部に分けて構成し、その合本の形で構成してある。各部の先頭には色紙を置いて、それぞれの区分が一瞥できるようにした。

A部は「情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査及び指針の策定」に関する報告が集めてある。具体的にはつぎの2つの項目に対する報告書からなる。

- 情報教育カリキュラム標準の策定に関する指針の策定
- 情報教育カリキュラム標準の策定に関する海外調査

B部は「情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言」に関する報告が集めてある。具体的にはつぎの8つの項目に対する報告書からなる。

- カリキュラム標準 CS
- カリキュラム標準 IS

- カリキュラム標準 CE
- カリキュラム標準 SE
- カリキュラム標準 IT
- 側面別カリキュラム標準 Cyber Security
- 側面別カリキュラム標準 Data Science
- 教育認定

C部は「教養教育として必要な情報教育カリキュラム標準の策定」の報告書を収めている。

D部は「専門基礎教育段階に対する情報教育カリキュラム標準の策定方策の提言」の報告書を収めている。

□

はしがき

本報告書は、情報処理学会が文部科学省先導的の大学改革推進委託事業「超スマート社会における情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査研究」を受託して行った調査研究の結果を取りまとめたものである。その調査研究は、実質的に情報処理学会の情報処理教育委員会が担当して行った。ここでは、この委託事業を受託することになった背景を説明し、その事業実施の状況を記しておく。

情報処理教育委員会は、情報処理学会として初めて理工系の情報専門学科向けのカリキュラム J90 を策定したのを機に設置された委員会である。設立当初の活動対象は、主として大学における情報専門教育にあった。1997年には日本国内の状況に即した「大学の理工系学部情報系学科のためのコンピュータサイエンス教育カリキュラム J97」を公開・出版している。

その後、この委員会の活動対象はカリキュラム検討から広がって、教育認定（ア krediteーション）制度の導入を検討にまで進んだ。折しも工学分野でも教育認定制度の導入が検討されていたこともあって、情報処理学会は日本工学教育認定機構（JABEE）に参画することになった。JABEE の認定制度を立ち上げるには、認定の基準を定める必要が生じ、それには標準的なカリキュラムがあることが役にたった。当時、想定されていた学科の形としては、コンピュータサイエンス（CS）、情報システム（IS）が主であったが、よりハードウェアに近い部分を対象とするコンピュータ工学（CE）や、大規模ソフトウェアシステムを対象とするソフトウェア工学（SE）も対象としたものも含めて、標準カリキュラムが策定されて来っていた。

米国では、ACM/IEEE-CS/AIS が継続的に標準カリキュラムの改定作業を行なっていたが、1990年代後半のインターネットとウェブシステムの誕生・発展によって、それら IT を駆使したシステムを対象とする技術者育成を目標とする新しい形の学科が生まれてきたことを受けて、インフォメーションテクノロジー（IT）という標準カリキュラムが誕生した。J97 策定から 10 年後には、情報処理学会としても J97 の改定を行うべきだという声に押されて情報処理教育委員会が主体となって 2007 年度に策定したカリキュラム標準は J07 と呼ばれることになった。

早いもので、それから 10 年が経とうとしている。技術発展が急激である情報分野にあっては、10 年一昔どころか、10 年経つと枠組みから物事が変わってしまう。情報処理教育委員会でも遅くとも 2017 年度には J07 の改定を終えて J17 として世に問うべきであるということになり、準備を進めていたところであった。

2016 年 3 月には、日本学術会議が情報学分野に対する学部教育の参照基準を公表した。この参照基準が策定される過程では、情報処理教育委員会でもあれこれと議論し意見発表などもして大いに貢献したのであった。その参照基準では、従来からの「理工系」の情報専門教育で扱うことがらに加えて、「エ：情報を扱う人間社会に関する理解」という項目が付け加えられている。このエを J17 でどう扱うかは、J17 策定作業にとって一つの大きなポイントになることは必至である。

実際、大学側での動きを見ても、理工系に限定されることなく、文系学部にあっても「情報」を学科名や学部名に冠したものが多くなっていることに気がつく。J17 策定にあたっては、こうした学部学科の実態の調査も行う必要があると強く感じられるようになってきたタイミングで、文部科学省が先導的大学の改革推進委託事業の一環として 2016 年度の「超スマート社会における情報教育の在り方に関する調査研究」に引き続き、2017 年度に「超スマート社会における情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査研究」というタイトルでの受託者を公募していることを知り、応募したところ受託するができたというのが背景である。

2016 年度の委託事業で行なった全大学を対象とする情報教育（共通基礎教育、専門基礎教育、専門学科教育を網羅）の現状調査、海外調査の結果を出発点として、この委託調査研究では、米国での情報教育カリキュラム策定状況の追加調査、欧州での情報教育カリキュラム策定の調査、豪州での情報教育カリキュラム調査を行うとともに、日本の状況を踏まえつつ国際的なカリキュラム標準を元に情報専門学科に対するカリキュラム標準の日本でのカリキュラム標準の策定を行った。加えて、J07 に引き続き、共通教育・教養教育過程での情報教育のカリキュラム標準の策定を行った。

新しいうねりとしてのサイバーセキュリティとデータサイエンスについては、それらの側面に限定して何をどのようにカリキュラムに落とし込むかの具体案作成に取り組んだ。サイバーセキュリティについては、成案を得るこ

とができたが、データサイエンスについては他国の状況を見てもカリキュラム標準を策定する段階までには内容が確定してきていないこともあって、次年度以降に向けての課題として残った。

情報専門学科以外の学科・学部においても、その専門基礎レベルでの情報教育が強く求められている。これに呼応する形でのカリキュラム策定へ向けて、一方で踏み込んだ提言をまとめることができた。

短期間の調査研究であったが、一定の成果が得られたことを多としたい。

「超スマート社会における情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査研究」

事業実施統括委員会委員長 高岡 詠子

A 部

情報教育カリキュラム標準の策定に関する 調査及び指針の策定

この部は、つぎの 2 つの報告書からなる。それぞれの報告書は、その先頭に色紙を置いて区分してある

情報教育カリキュラム標準の策定に関する指針の策定

情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査 (FV)

情報教育カリキュラム標準の策定に関する
指針の策定

情報教育カリキュラム標準の策定に関する 指針の策定

目次

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 参照基準への対応 — CS, IS, CE, SE, IT, GE | 2 |

事業実施統括委員会

高岡 詠子(委員長)	上智大学
美馬 のゆり(副委員長)	公立はこだて未来大学
萩谷 昌己	東京大学
浅井 光太郎	三菱電機(株)
今岡 仁	NEC データサイエンス研究所
北村 操代	三菱電機(株)情報技術総合研究所
鳥澤 健太郎	情報通信研究機構
中川 八穂子	(株)日立製作所
長谷川 輝之	KDDI(株)
箕 捷彦	
掛下 哲郎	佐賀大学
角田 博保	
寺田 真敏	中央大学
中野 美由紀	産業技術大学院大学
佐渡 一広	群馬大学
稲垣 知宏	広島大学
長尾 和彦	弓削商船高等専門学校

1. はじめに

事業統括委員会は、この事業全般にわたる調査研究事業の指針を立て、事業項目ごとに
もうけた担当 WG の活動全般を統括した。

情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査としては、前年の調査を補充することを
目的として、米国の未訪問大学、欧州の複数の国、オーストラリアを対象とすることとし、
調査項目・質問項目を文書として用意した上で訪問先の交渉が行われ、オーストラリアは
ACS (Australian Computer Society) から文書で回答をしてくれるとの申し出があったの
で、直接訪問することを割愛した。

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定に関しては、情報処理教育
委員会の下に設けられているカリキュラム対応の委員会である、コンピュータ科学教育委
員会、情報システム教育委員会、コンピュータエンジニアリング教育委員会、ソフトウェ
アエンジニアリング教育委員会、インフォメーションテクノロジー教育委員会に、WG を設
けて、それぞれ J07 の CS, IS, CE, SE, IT のカリキュラム標準を元に、ACM/IEEE-CS/AIS
で進められている対応カリキュラム標準の改定も参考にして、策定を行うことを求めた。

その策定結果を相互に俯瞰できるよう、日本学術会議が定めている情報学分野に対する
学部教育の参照基準を使って、それぞれのカリキュラム標準が、そこに挙げられている知
識・スキルの項目にどのように対応するものに仕上げられているかを示すことを求めた。

サイバーセキュリティ、データサイエンスに関しては、それぞれの分野が専門内容とし
ている知識・技術を洗い出し、それらの知識・技術の学習だけに特化したカリキュラムの
策定を試みることにした。これらが策定できたら、それらを「側面別カリキュラム標準」
と呼ぶことにした。サイバーセキュリティもデータサイエンスも社会的・産業的に注目さ
れているだけに、側面別カリキュラム標準が策定できれば、それらを取り込んだ形で情報
専門学科カリキュラムや一般情報教育カリキュラムを構成したり説明したりすることが容
易になることが期待される。

情報処理教育委員会の下に設けられているカリキュラム対応の委員会には一般情報教育
委員会もある。この委員会には、WG を設けて、J07 での対応カリキュラム標準である J07-
GE を元に教養教育・一般情報教育の新しいカリキュラム標準の策定を求めた。

専門基礎教育段階に対する情報教育カリキュラム標準に関しては、CS, IS, CE, SE, IT の

カリキュラム標準が策定できれば、その必要部分を抜き出して、理工系の他学部・他学科向けの専門基礎教育段階に対する情報教育カリキュラム（いわゆる副専攻カリキュラム）を策定できることが期待される。しかしながら、今回の比事業実施期間が短いことを考えると、CS, IS, CE, SE, IT のカリキュラム標準策定を行う WG に副専攻カリキュラムまで策定する時間余裕はない。そこで、別に WG を設けてこうした課題について調査研究を行ってもらったこととした。

2. 参照基準への対応 — CS, IS, CE, SE, IT, GE

CS, IS, CE, SE, IT, GE それぞれのカリキュラム標準の大枠が固まった時点で、情報学分野の学部教育参照基準に盛り込まれている知識・スキルの項目表にそのカリキュラム標準が対応しているものに印をつける作業をしてもらった。その結果を表 1～表 6 に示す。

それぞれの表で、右側に並べられている列は、そのカリキュラム標準の大項目にあたる分類に対しての。大項目の立て方は、カリキュラム標準によって異なるから、列の数も違っている。また、WG 間連絡会議で議論をしてもらったものの、カリキュラム標準策定の途中段階にあっては参照基準の項目に「対応している」ことの深さ・強さを統一的な記号や数値で表すところまでには至らなかった。

それでも、学科類型の CS, IS, CE, SE, IT がどんな違いを持つのか、どんな共通性があるのかを見たいし、共通教育・一般基礎教育段階な GE とどんな違いが見られるのかを見たい。そこで、「対応している」という記号が一つでも書かれていれば“●”をつける（一つも記号がついてなければ空欄とする）ことにして、CS, IS, CE, SE, IT, GE の「対応」状況を示したのが表 7 である。見ての通り、「対応」することの意味づけや、その深さ・強さの表記が統一されていないまま、「一つでも印が付いていれば」“●”としたので、例えば CS は全ての項目に“●”がついている、といった具合に、細かいところまで読み取ることとはとてもできない。それでいながらも、部分部分ではカリキュラム標準同士での違いがすけて見えている。

これを出発点として、相互に知恵を出し合って、参照基準を介して、それぞれのカリキュラム標準の特徴がわかりやすく表示できる方法が生み出されることを期待したい。

領域名	調査項目名	内容	AL	AR	CN	DS	GV	HCI	IAS	JM	JS	NC	OS	PB	PD	PL	SD	SE	SF	SP	MR	
情報一般の原理	情報と意味(情報は意味)	・生命にとっての意味と価値			○		○															○
	情報の種類(広義、狭)	・生命情報(意味作用の源泉、身体技能的な情報)					○															○
	情報と記号(情報は、記)	・類似記号(意味内容と類似したパターン)					○															○
	記号の意味解釈(意味情報)	・人間をふくむ生物個体(記号の自律的な意味)			○																	○
情報の交換と伝達	コミュニケーション(情報)	・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体の社会的価値の創造(情報)			○				○	○												○
	情報量	・個々の選択行動が、試行錯誤や生存競争をシミュレーション、エントロピー																				○
情報の表現・蓄積・管理	量子化(離散化)、構造化	・ナキスト周波数																				○
	圧縮、符号	・データ圧縮、取り出し訂正					○															○
	符号	・共通鍵符号、公開鍵符号																				○
	データ	・文字コード、数値の表現																				○
情報の認識と分析	データ構造	・配列、木、グラフ、集合	○		○	○	○															○
	データ型	・型検査、型推論																				○
	データベース	・データモデル					○															○
	符号処理	・フィルタリング、ノイズ除去																				○
計算	パターン認識	・音声認識、画像認識																				○
	機械学習	・教師あり学習、教師なし学習																				○
	データマイニング	・回帰分析、クラスティング																				○
	計算モデル	・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)	○																			○
各種の計算・アルゴリズム	アルゴリズム	・標準的アルゴリズム、並列アルゴリズム、分散	○																			○
	計算の限界	・計算可能性、不完全性定理	○																			○
	計算の効率	・計算量、計算量の階層	○																			○
	計算の正しさ	・プログラミング言語、形式意味論	○																			○
コンピュータのハードウェア	探索、整列	・文字列探索、整列アルゴリズム	○																			○
	木・グラフアルゴリズム	・二分木、BDD、ゲーム木	○																			○
	数値計算	・行列(逆行列、固有値分解)	○																			○
	シミュレーション	・数値モデル	○																			○
コンピュータのハードウェア	最適化	・線形計画法	○																			○
	計算幾何	・三角形判定、ボロノイ図	○																			○
	自動推論	・演算原理、モデル検査																				○
	自然言語処理	・形態素解析、句構造文法																				○
入出力装置	素子	・半導体、ゲート、VLSI																				○
	デジタル回路	・組み合わせ回路、順序回路																				○
	コンピュータアーキテク	・マイクロアーキテクチャ、制御方式																				○
	インタフェース	・シリアル、パラレル、ネットワークインタフェース																				○
基本ソフトウェア	出力装置	・プリンタ、ディスプレイ、アクチュエータ																				○
	入力装置	・キーボード、ポインティングデバイス、タッチパ																				○
	二次記憶装置	・磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD																				○
	オペレーティングシステム	・マルチタスク、マイクロカーネル、仮想機械																				○
社会において情報創造・伝達	モデルウェア	・DBMS、トランザクション、ネットワークサービ																				○
	プログラミング言語と重	・プログラミング言語(低水準言語/高水準																				○
	コミュニケーション	・非文字的情報、言語情報	○																			○
	メディア～技術的・文化	・機械的な情報技術(印刷物関連)～文字情																				○
情報システムを開発する技術	付随、参加、デジタルテ	・拡張と縮減、参加と排除、情報格差																				○
	観測、シミュレーション、	・観測の限界、計算の限界、科学的データと意																				○
	情報倫理と社会組織の	・表現の自由と責任、知的財産、情報公開、イン																				○
	経済システムの存立と情報	・モノの生産と制御、ロジスティクスを支える情報																				○
情報技術を基盤とした文化	組織マネジメント	・内閣情報/外部情報、情報マネジメント、パ																				○
	アーカイブ	・映像、文書、図書館																				○
	デジタル文化と資本	・SNSの文化																				○
	近代社会からポスト近代社会への移行	・近代社会と情報技術、近代人と情報技術																				○
情報システムを開発する技術	システム工学	・システム思考、システム設計技法、システム実																				○
	システムを記述するソフトウェア工学	・各種モデル化技法(構造化分析、データモデリ																				○
	プログラミング技術	・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデ																				○
	情報システムの品質を保障	・検証技術、テスト技法、ISO/IEC、Squareシリ																				○
情報システムを開発する技術	プロジェクトマネジメント	・プロジェクト計画、チーム編成、プロジェクト管																				○
	情報システムを企画・構	・組織の改革・改善プロセス、業務モデリング、																				○
	情報システムの利用	・利用計画、利用推進、効果測定、トレーニング																				○
	情報システムの運用、保	・ITサービスマネジメント																				○
情報システムを開発する技術	企業・組織	・ビジネスモデル(事業の定義、業務プロセス)、																				○
	グローバルな組織と情報																					○
	安全・安心なシステム	・事業継続計画、環境に対する配慮																				○
	社会におけるさまざまな情報システム、情報シ	・社会におけるさまざまな情報システム、情報シ																				○
情報システムと人間のインタフェースに関する原理や設計方法	法制度	・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アク																				○
	人間の認知特性	・Model Human Processor、人間の認知構造、																				○
	ユーザインタフェース設計	・ユーザインタフェース設計、ユーザビリティア																				○
	対話手法	・GUI部品、タッチインタフェース、音声インタ																				○
情報学を学ぶ学生が獲得すべき専門的能力(情報創造性)	可視化	・情報デザイン、科学的ドキュメンテーション、																				○
	情報処理・計算・データ	・情報の構造を設計する能力																				○
	システム化	・システムの体系・構造を理解し、表現する能力																				○
	情報倫理・情報社会	・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極																				○
情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル	創造性	・創造力、構想力、想像力																				○
	論理的思考・計算論的思	・論理的思考能力、論理的厳密さ・演繹する能																				○
	課題発見・問題解決	・課題発見能力、問題解決能力、システム思考、																				○
	コミュニケーション	・コミュニケーション能力、プレゼンテーション能																				○
情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル	チームワーク/リーダー	・協働性、リーダーシップ、ストレス耐性																				○
	分野間・自己啓蒙	・主体的に学習する能力																				○

図 1 参照基準への対応—CS

領域名	調査項目名	内容	IS							
情報一般の原理	情報と意味(情報は意味作	・生命にとっての意味と価値								
	情報の種類(広義、狭義、	・生命情報(意味作用の源泉、身体技能的な情報)								
	情報と記号(情報は、記号	・類似記号(意味内容と類似したパターン)								
	記号の意味解釈(意味解釈	・人間をふくむ生物個体(記号の自律的な意味解								
	コミュニケーション(情報をも	・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体のモデ								
情報の変換と伝達	情報量	シャノン情報量、エントロピー								
	量子化(離散化)、標本化	ナイキスト周波数								
情報の表現・蓄積・管理	圧縮、符号	データ圧縮、誤り検出訂正								
	暗号	共通鍵暗号、公開鍵暗号								
	データ	文字コード、数値の表現								
	データ構造	・配列、木、グラフ、集合								
情報の認識と分析	データ型	型検査、型推論								
	データベース	・データモデル								
計算	信号処理	フィルタリング、ノイズ除去								
	パターン認識	音声認識、画像認識								
	機械学習	・教師あり学習、教師なし学習								
各種の計算・アルゴリズム	データマイニング	回帰分析、クラスティング								
	計算モデル	・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)								
	アルゴリズム	確率的アルゴリズム、並列アルゴリズム、分散アル								
	計算の限界	計算可能性、不完全性定理								
	計算の効率	計算量、計算量の階層								
	計算の表現	プログラミング言語、形式意味論								
	計算の正しさ	プログラム論理、検証								
コンピュータのハードウェア	探索、整列	文字列探索、整列アルゴリズム								
	木・グラフアルゴリズム	・二分木、BDD、ゲーム木								
	数値計算	・行列(逆行列、固有値分解)								
	シミュレーション	・数値モデル								
	最適化	・線形計画法								
コンピュータのハードウェア	素子	半導体、ゲート、VLSI								
	デジタル回路	・組み合わせ回路、順序回路								
入出力装置	コンピュータアーキテクチャ	・マイクロアーキテクチャ、制御方式								
	インタフェース	シリアル、パラレル、ネットワークインタフェース								
	出力装置	プリンタ、ディスプレイ、アクチュエータ								
	入力装置	キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル、								
基本ソフトウェア	二次記憶装置	磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD、SSD								
	オペレーティングシステム	・モノリシック、マイクロカーネル、仮想機械								
社会において情報が創造・伝達される過程	ミドルウェア	DBMS、トランザクション、ネットワークサービス、								
	プログラミング言語と言語	・プログラミング言語(低水準言語/高水準言語、文								
	コミュニケーション	非文字的情報、言語情報								
	メディア～技術的・文化的	・機械的な情報技術(印刷物関連)―文字情報の								
	認識、参加、デジタルデバ	認識と接続、参加と接続、情報格差								
	観測、シミュレーション、制	観測の限界、計算の限界、科学的データと意思決								
	情報倫理と社会組織の	表現の自由と責任、知的財産、情報公開、イン								
	経済システムと情報	モノの生産と制御、ロジスティクスを支える情報シ								
	組織マネジメント	内部情報/外部情報、情報マネジメント、パブリック・								
	アーカイブ	映像、文書、図書館								
近代社会からポスト近代社会へ	デジタル文化と資本	・SNSの文化								
	近代社会の価値と人間	近代社会と情報技術、近代人と情報技術								
情報システムを開発する技術	ポスト近代社会への移行	新たに求められる人間の能力、より民主的な社会								
	要求工学	・現場の観察法(フィールドワーク、エスノグラ								
	システム工学	システム思考、システム設計技法、システム実装技								
	情報システムを記述する技	各種モデル化技法(構造化分析、データモデリン								
	ソフトウェア工学	・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデル、ド								
情報システムの効果を得るための技術	プログラミング技術	・オブジェクト指向プログラミング								
	情報システムの品質を保証	検証技術、テスト技法、ISO/IEC SQuAREシリーズ								
	プロジェクトマネジメント	プロジェクト計画、チーム編成、プロジェクト管理、								
	情報システムを企画・構想	・組織の改革・改善プロセス、業務モデリング、IT投								
情報システムと人間のインタフェースに関する原理や設計方法	情報システムの利用	利用計画、利用推進、効果測定、トレーニング、改								
	情報システムの運用、保	ITサービスマネジメント								
	企業・組織	ビジネスモデル(事業の定義、業務プロセス)、内部								
情報学を学ぶ学生が獲得すべき専門的能力(情報)	グローバルな組織と情報シ									
	安全・安心なシステム	・事業継続計画、環境に対する配慮								
情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル	社会制度	・社会におけるさまざまな情報システム、情報システ								
	法制度	・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アクセス、								
	人間の認知特性	・Model Human Processor、人間の認知構造、Fittz								
	ユーザインタフェース設計	ユーザインタフェース指針、ユーザビリティ、アクセ								
	対話手法	・GUI部品、タッチインタフェース、音声インタフェー								
情報学を学ぶ学生が獲得すべき専門的能力(情報)	可視化	情報デザイン、科学的ビジュアライゼーション、デー								
	情報処理・計算・データ分	・情報の構造を設計する能力								
情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル	システム化	・システムの体系・構造を理解し表現する能力								
	情報倫理・情報社会	・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極的に								
	創造性	創造力、構想力、想像力								
	論理的思考・計算論的思考	・論理的思考能力・論理的厳密さ・演繹する能力								
情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル	課題発見・問題解決	問題発見能力、問題解決能力、システム思考、クリ								
	コミュニケーション	コミュニケーション能力、プレゼンテーション能力								
	チームワーク・リーダーシッ	協働性、リーダーシップ、ストレス耐性								
	分野開拓・自己啓発	・主体的に学習する能力								

図 2 参照基準への対応－IS

領域名	調査項目名	内容	回	エ	コ	ブ	コ	デ	組	組	シ	コ	情	ブ	ブ	デ	ソ	ソ	シ	イ
情報一般の原理	情報と意味(情報は意味)	・生命にとっての意味と価値																		
	情報の種類(広義、狭)	・生命情報(意味作用の源泉、身体技能的な積)																		
	情報と記号(情報は、記)	・類似記号(意味内容と類似したパターン)																		
	記号の意味解釈(意味解釈)	・人間をふくむ生物個体(記号の自律的な意味)																		
	コミュニケーション(情報)	・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体の生)																		
情報の変換と伝達	社会的価値の創造(情報)	・個々の選択行動が、試行錯誤や生存競争を																		
	情報量	・シャノン情報量、エントロピー																		
	量子化(離散化)、標本化	・ナイキスト周波数																		
情報の表現・蓄積・管理	圧縮、符号	・データ圧縮、指し検出訂正																		
	符号	・共通鍵符号、公開鍵符号																		
	データ	・文字コード、数値の表現																		
	データ構造	・配列、木、グラフ、集合																		
	データ型	・型検査、型推論																		
情報の認識と分析	データベース	・データモデル																		
	信号処理	・フィルタリング、ノイズ除去																		
	パターン認識	・音声認識、画像認識																		
計算	機械学習	・教師あり学習、教師なし学習																		
	データマイニング	・回帰分析、クラスターリング																		
	計算モデル	・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)																		
	アルゴリズム	・確率的アルゴリズム、並列アルゴリズム、分散																		
	計算の限界	・計算可能性、不完全性定理																		
	計算の効率	・計算量、計算量の階層																		
	計算の表現	・プログラミング言語、形式意味論																		
各種の計算・アルゴリズム	計算の正しさ	・プログラム論理、検証																		
	探索、検列	・文字列探索、検列アルゴリズム																		
	木・グラフアルゴリズム	・二分木、BDD、ゲーム木																		
	数値計算	・行列(逆行列、固有値分解)																		
	シミュレーション	・数値モデル																		
コンピュータのハードウェア	最適化	・線形計画法																		
	計算幾何	・三角形分割、ボロノイ図																		
	自動推論	・選出原理、モデル検査																		
	自然言語処理	・形態素解析、句構造文法																		
	素子	・半導体、ゲート、VLSI																		
入出力装置	デジタル回路	・組み合わせ回路、順序回路																		
	コンピュータアーキテク	・マイクロアーキテクチャ、制御方式																		
	インタフェース	・シリアル、パラレル、ネットワークインタフェース																		
	出力装置	・プリンタ、ディスプレイ、アクチュエータ																		
	入力装置	・キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネ																		
基本ソフトウェア	二次記憶装置	・磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD、SSD																		
	オペレーティングシステム	・マルチタスク、マイクロカーネル、仮想機械																		
	ミドルウェア	・DBMS、トランザクション、ネットワークサービス																		
	プログラミング言語と言語	・プログラミング言語(低水準言語/高水準言語)																		
	コミュニケーション	・非文字的情報、言語情報																		
社会において情報創造・伝達・蓄積を扱う人間	メディア～技術的・文化的	・機械的な情報技術(印刷物関連)～文字情報																		
	討論、参加、デジタルテ	・情報と協働、参加と協働、情報格差																		
	観測、シミュレーション、	・観測の限界、計算の限界、科学的データと意思																		
	情報倫理と社会組織の	・表現の自由と責任、知的財産、情報公開、イン																		
	経済システムの	・モノの生産と制御、ロジスティクスを支える情報																		
情報技術を基盤とした文化	存在と情報	・内部情報/外部情報、情報マネジメント、バブ																		
	情報技術を基盤	・アーカイブ																		
	とした文化	・デジタル文化と資本																		
	近代社会からポ	・SNSの文化																		
	スト近代社会へ	・近代社会と情報技術、近代人と情報技術																		
情報システムを開発する技術	ポスト近代社会へ	・新たに求められる人間の能力、より民主的な社																		
	要求工学	・現場の観察法(フィールドワーク、エスノグラ																		
	システム工学	・システムの観察法、システム設計技法、システム案																		
	情報システムを記述する	・各種モデル化技法(構造化分析、データモデリ																		
	ソフトウェア工学	・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデ																		
情報システムの効果を得るための技術	プログラミング技術	・オブジェクト指向プログラミング																		
	情報システムの品質を保	・検証技術、テスト技法、ISO/IEC 9000/SQuaREシリー																		
	プロジェクトマネジメント	・プロジェクト計画、チーム編成、プロジェクト管																		
	情報システムを企画・撰	・組織の改革・改善プロセス、業務モデリング、																		
	情報システムの利用	・利用計画、利用推進、効果測定、トレーニング、																		
情報に関わる社会的なシステムと人間のインタフェースに関する原理や設計方法	情報システムの運用、保	・ITサービスマネジメント																		
	企業・組織	・ビジネスモデル(事業の定義、業務プロセス)、																		
	グローバルな組織と情報	・安全・安心なシステム																		
	安全・安心なシステム	・事業継続計画、環境に対する配慮																		
	社会制度	・社会におけるさまざまな情報システム、情報シ																		
情報システムと人間のインタフェースに関する原理や設計方法	法制度	・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アクセス)																		
	人間の認知特性	・Model Human Processor、人間の認知構造																		
	ユーザインタフェース設計	・ユーザインタフェース設計、ユーザビリティ、アク																		
	対話手法	・GUI部品、タッチインタフェース、音声インタ																		
	可視化	・情報デザイン、科学的ビジュアライゼーション、																		
情報学を学ぶ学生が獲得すべき専門的能力(情報創造性)	情報処理・計算・データ分	・情報の構造を設計する能力																		
	システム化	・システムの体系・構造を理解し表現する能力																		
	情報倫理・情報社会	・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極的																		
	創造性	・創造力、想像力、想像力																		
	論理的思考・計算論的思	・論理的思考能力・論理的厳密さ・演繹する能																		
情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル	課題発見・問題解決	・問題発見能力、問題解決能力、システム思考																		
	コミュニケーション	・コミュニケーション能力、プレゼンテーション能力																		
	チームワーク・リーダー	・協調性、リーダーシップ、ストレス耐性																		
	分野開拓・自己啓発	・主体的に学習する能力																		

図 3 参照基準への対応—CE

領域名	調査項目名	内容	Fou	Pro	Dis	Fou	Log	Fou	Fou	Sof	Mo	Sof	Sof	Vai	For	Sof	Hu	Dev	Intr	Bas	Adv	Ent	Emb
情報一般の原理	情報と意味(情報は意味)	・生命にとっての意味と価値																					
	情報の種類(広義、狭)	・生命情報(意味作用の源泉、身体技能的な暗)																					
	情報と記号(情報は、記)	・類似記号(意味内容と類似したパターン)																					
情報の変換と伝達	記号の意味解釈(意味解)	・人間をふくむ生物個体(記号の自律的な意味)																					
	コミュニケーション(情報)	・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体のモ)																					
	社会的価値の創造(情報)	・個々の選択行動が、試行錯誤や生存競争を																					
情報の表現・蓄積・管理	情報量	・シャノン情報量、エントロピー																					
	量子化(離散化)、標準化	・シャノン情報量、エントロピー																					
	圧縮、符号	・データ圧縮、誤り検出訂正																					
情報の認識と分析	番号	・共通鍵暗号、公開鍵暗号																					
	データ	・文字コード、数値の表現																					
	データ構造	・配列、木、グラフ、集合																					
計算	データ型	・型検査、型推論																					
	データベース	・データモデル																					
	信号処理	・フィルタリング、ノイズ除去																					
各種の計算・アルゴリズム	パターン認識	・音声認識、画像認識																					
	機械学習	・教師あり学習、教師なし学習																					
	データマイニング	・回帰分析、クラスティング																					
コンピュータのハードウェア	計算モデル	・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)																					
	アルゴリズム	・効率的アルゴリズム、並列アルゴリズム、分散																					
	計算の限界	・計算可能性、不完全性定理																					
入出力装置	計算の効率	・計算量、計算量の階層																					
	計算の表現	・プログラミング言語、形式意味論																					
	計算の正しさ	・プログラム論理、検証																					
基本ソフトウェア	探索、探索	・文字列探索、探索アルゴリズム																					
	木・グラフアルゴリズム	・二分木、BDD、ゲーム木																					
	数値計算	・行列(連行、固有値分解)																					
社会において情報創造・伝達	シミュレーション	・整理モデル																					
	最適化	・線形計画法																					
	計算幾何	・三角形分割、ボロノイ図																					
情報システムを開発する技術	自動推論	・導出原理、モデル検査																					
	自然言語処理	・形態素解析、句構造文法																					
	素子	・半導体、ゲート、VLSI																					
情報システムを開発する技術	デジタル回路	・組み合わせ回路、順序回路																					
	コンピュータアーキテク	・マイクロアーキテクチャ、制御方式																					
	インタフェース	・シリアル、パラレル、ネットワークインタフェース																					
情報システムを開発する技術	出力装置	・プリンタ、ディスプレイ、タッチペン																					
	入力装置	・キーボード、ポインティングデバイス、タッチパ																					
	二次記憶装置	・磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD																					
情報システムを開発する技術	オペレーティングシステム	・モノリシック、マイクロカーネル、仮想機械																					
	ミドルウェア	・DBMS、トランザクション、ネットワークサービス																					
	プログラミング言語と言	・プログラミング言語(低水準言語/高水準言																					
情報システムを開発する技術	コミュニケーション	・非文字的情報、言語情報																					
	メディア〜技術的、文化	・機械的な情報技術(印刷物関連)〜文字情																					
	討論、参加、デジタルデ	・読解と読解、参加と推論、情報格差																					
情報システムを開発する技術	観測、シミュレーション	・観測の限界、計算の限界、科学的データと意思																					
	情報倫理と社会組織の	・表現の自由と責任、知的財産、情報公開、イン																					
	経済システムと情報	・モノの生産と制御、ロジスティクスを支える情報																					
情報システムを開発する技術	組織マネジメント	・内部情報/外部情報、情報マネジメント、パ																					
	アーカイブ	・映像、文書、図書館																					
	デジタル文化と資本	・SNSの文化																					
情報システムを開発する技術	近代社会からポスト近代社会への移行	・近代社会と情報技術、近代人と情報技術																					
	ポスト近代社会への移行	・新たに求められる人間の能力、より民主的な社																					
	要求工学	・現場の観察法(フィールドワーク、エスノグラ																					
情報システムを開発する技術	システム工学	・システム思考、システム設計技法、システム実																					
	情報システムを記述する	・各種モデル化技法(構造化分析、データモデル)																					
	ソフトウェア工学	・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデ																					
情報システムを開発する技術	プログラミング技術	・オブジェクト指向プログラミング																					
	情報システムの品質を保	・検証技術、テスト技法、ISO/IEC 9000シリーズ																					
	プロジェクトマネジメント	・プロジェクト計画、チーム編成、プロジェクト管																					
情報システムを開発する技術	情報システムを企画・構	・組織の改革、改善プロセス、業務モデリング																					
	情報システムの利用	・利用計画、利用推進、効果測定、トレーニング																					
	情報システムの運用、保	・ITサービスマネジメント																					
情報システムを開発する技術	企業・組織	・ビジネスモデル(事業の定義、業務プロセス)																					
	グローバルな組織と情報	・安全・安心なシステム																					
	安全・安心なシステム	・社会におけるさまざまな情報システム、情報シ																					
情報システムを開発する技術	社会制度	・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アク																					
	法制度	・Model Human Processor、人間の認知構造																					
	人間の認知特性	・ユーザインタフェース設計、ユーザビリティ、アク																					
情報システムを開発する技術	ユーザインタフェース設	・GUI部品、タッチインタフェース、音声インタ																					
	対話手法	・情報デザイン、科学的ビジュアルイゼンション																					
	可視化	・情報の構造を設計する能力																					
情報システムを開発する技術	情報処理・計算・データ	・システムの体系・構造を理解し表現する能力																					
	システム化	・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極																					
	情報倫理・情報社会	・創造力、構想力、想像力																					
情報システムを開発する技術	創造性	・論理的思考能力、論理的推論能力、演繹する能																					
	論理的思考・計算論的思	・問題発見能力、問題解決能力、システム思考																					
	課題発見・問題解決	・コミュニケーション能力、プレゼンテーション能																					
情報システムを開発する技術	コミュニケーション	・協調性、リーダーシップ、ストレス耐性																					
	チームワーク・リーダー	・主体的に学習する能力																					
	分野開拓・自己啓発																						

図 4 参照基準への対応—SE

領域名	調査項目名	内容	Cyb	Glo	Info	Inte	Net	Plat	Sys	Sof	Use	We	App	Clo	Cyb	Dat	Inte	Mo	Sof	Soc	Virt	Pro	PBL
情報一般の原理	情報と意味(情報は意味)	・生命にとっての意味と価値																					
	情報の種類(広義、狭)	・生命情報(意味作用の源泉、身体技能的な暗示)																					
	情報と記号(情報は、記)	・類似記号(意味内容と類似したパターン)																					
	記号の意味解釈(意味解)	・人間をふくむ生物個体(記号の自律的な意味)																					
情報の変換と伝達	コミュニケーション(情報)	・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体のモ)																					
	社会的価値の創造(情報)	・個々の選択行動が、試行錯誤や生存競争を																					
情報の表現・蓄積・管理	情報量	・シャノン情報量、エントロピー																					
	量子化(離散化)、離散化	・ナイキスト周波数																					
	圧縮、符号	・データ圧縮、誤り検出訂正																					
	符号	・共通鍵暗号、公開鍵暗号																					
情報の認識と分析	データ	・文字コード、数値の表現																					
	データ構造	・配列、木、グラフ、集合																					
	データベース	・検索、取得																					
	データマイニング	・データモデル																					
計算	信号処理	・フィルタリング、ノイズ除去																					
	パターン認識	・音声認識、画像認識																					
	機械学習	・教師あり学習、教師なし学習																					
	計算モデル	・回帰分析、クラスター																					
各種の計算・アルゴリズム	アルゴリズム	・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)、確率的アルゴリズム、並列アルゴリズム、分散																					
	計算の限界	・計算可能性、不完全性定理																					
	計算の効率	・計算量、計算量の階層																					
	計算の表現	・プログラミング言語、形式意味論																					
コンピュータのハードウェア	計算の正しさ	・プログラムの検証、検証																					
	検査、検算	・文字列探索、整列アルゴリズム																					
	ホ・グラフアルゴリズム	・二分木、BDD、ゲーム木																					
	数値計算	・行列(逆行列、固有値分解)																					
入出力装置	シミュレーション	・数値モデル																					
	最適化	・線形計画法																					
	計算幾何	・三角形分割、ポロノイ図																					
	自動推論	・導出原理、モデル検査																					
基本ソフトウェア	自然言語処理	・形態素解析、句構造文法																					
	素子	・半導体、ゲート、VLSI																					
	デジタル回路	・組み合わせ回路、順序回路																					
	コンピュータアーキテク	・マイクロアーキテクチャ、制御方式																					
情報システムを開発する技術	インタフェース	・グラフィックユーザインタフェース																					
	出力装置	・プリンタ、ディスプレイ、アクチュエータ																					
	入力装置	・キーボード、ポインティングデバイス、タッチパ																					
	二次記憶装置	・磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD、																					
情報システムを構築した文化	オペレーティングシステム	・モリシック、マイクロカーネル、仮想機械																					
	ミドルウェア	・DBMS、トランザクション、ネットワークサービス、																					
	プログラミング言語と言	・プログラミング言語(低水準言語/高水準言																					
	コミュニケーション	・非文字的情報、言語情報																					
情報システムを構築した文化	メディア~技術的・文化	・機械的な情報技術(印刷物関連)~文字情																					
	討論、参加、デジタルデ	・監視と監視、参加と排除、情報格差																					
	観測、シミュレーション、	・観測の限界、計算の限界、科学的データと意思																					
	経済システムと情報	・表現の自由と責任、知的財産、情報公開、イン																					
情報システムを構築した文化	経済システムと情報	・モノの生産と制御、ロジスティクスを支える情報																					
	組織マネジメント	・内部情報/外部情報、情報マネジメント、パ																					
	アーカイブ	・録音、文書、図書館																					
	デジタル文化と資本	・SNSの文化																					
情報システムを開発する技術	近代社会からポスト近代社会へ	・近代社会と情報技術、近代人と情報技術																					
	ポスト近代社会への移行	・新たに求められる人間の能力、より民主的な社																					
	要求工学	・現場の観察法(フィールドワーク、エスノグラ																					
	システム工学	・システム思考、システム設計技法、システム実																					
情報システムを開発する技術	情報システムを記述する	・各種モデル化技法(構造化分析、データモデ																					
	ソフトウェア工学	・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデ																					
	プログラミング技術	・オブジェクト指向プログラミング																					
	情報システムの品質を保	・検証技術、テスト技法、ISO/IEC SQuaREシ																					
情報システムを開発する技術	プロジェクトマネジメント	・プロジェクト計画、チーム編成、プロジェクト管																					
	情報システムを企画・構	・組織の改革・改善プロセス、業務モデリング、																					
	情報システムの利用	・利用計画、利用推進、効果測定、トレーニング、																					
	情報システムの運用、保	・ITサービスマネジメント																					
情報システムを開発する技術	企業・組織	・ビジネスモデル(事業の定義、業務プロセス)、																					
	グローバルな組織と情報																						
	安全・安心なシステム	・事業継続計画、環境に対する配慮																					
	社会制度	・社会におけるさまざまな情報システム、情報シ																					
情報システムを開発する技術	法制度	・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アク																					
	人間の認知特性	・Model Human Processor、人間の認知構造、																					
	ユーザインタフェース設	・ユーザインタフェース指針、ユーザビリティ、アク																					
	対話手法	・GUI部品、タッチインタフェース、音声インタ																					
情報システムを開発する技術	可視化	・情報デザイン、科学的ビジュアライゼーション、																					
	情報処理・計算・データ	・情報の構造を設計する能力																					
	システム化	・システムの体系・構造を理解し表現する能力																					
	情報倫理・情報社会	・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極																					
情報システムを開発する技術	創造性	・創造力、想像力																					
	論理的思考・計算論的思	・論理的思考能力・論理的厳密さ・演繹する能																					
	課題発見・問題解決	・問題発見能力、問題解決能力、システム思考、																					
	コミュニケーション	・コミュニケーション能力、プレゼンテーション能																					
情報システムを開発する技術	チームワーク・リーダー	・協同性、リーダーシップ、ストレス耐性																					
	分野間協・自己啓蒙	・主体的に学習する能力																					

図 5 参照基準への対応-IT

領域名	調査項目名	内容	情	情	コン	ア	デ	情	情	情	コン
情報一般の原理	情報と意味(情報は意味作	・生命にとっての意味と価値	○								
	情報の種類(広義、狭義、	・生命情報(意味作用の源泉、身体技能的な暗黙	○								
	情報と記号(情報は、記号	・類似記号(意味内容と類似したパターン)		○							
	記号の意味解釈(意味解釈	・人間をふくむ生物個体(記号の自律的な意味解		○							
情報の変換と伝達	コミュニケーション(情報をも	・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体のモデ	○								
	社会的価値の創造(情報処	・個々の選択行動が、試行錯誤や生存競争を通じ									
	情報量	シャノン情報量、エントロピー		○							
	量子化(離散化)、標本化	ナイキスト周波数		○							
情報の表現・蓄積・管理	圧縮、符号	データ圧縮、誤り検出訂正		○							
	番号	共通鍵番号、公開鍵番号									
	データ	文字コード、数値の表現		○							
	データ構造	・配列、木、グラフ、集合						○			
情報の認識と分析	データ型	型検査、型推論									
	データベース	・データモデル						○			
	信号処理	フィルタリング、ノイズ除去									
	パターン認識	音声認識、画像認識									
計算	機械学習	・教師あり学習、教師なし学習									
	データマイニング	回帰分析、クラスタリング									
	計算モデル	・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)、									
	アルゴリズム	確率的アルゴリズム、並列アルゴリズム、分散アル									
各種の計算・アルゴリズム	計算の限界	計算可能性、不完全性定理						○			
	計算の効率	計算量、計算量の階層						○			
	計算の表現	プログラミング言語、形式意味論									
	計算の正しさ	プログラム論理、検証									
コンピュータのハードウェア	探索、整列	文字列探索、整列アルゴリズム						○			
	木・グラフアルゴリズム	・二分木、BDD、ゲーム木									
	数値計算	・行列(逆行列、固有値分解)									
	シミュレーション	・数理モデル									
入出力装置	最適化	・線形計画法									
	計算幾何	三角形分割、ボロノイ図									
	自動推論	導出原理、モデル検査									
	自然言語処理	・形態素解析、句構造文法									
基本ソフトウェア	素子	半導体、ゲート、VLSI									
	デジタル回路	・組み合わせ回路、順序回路						○			
	コンピュータアーキテクチャ	・マイクロアーキテクチャ、制御方式						○			
	インタフェース	シリアル、パラレル、ネットワークインタフェース						○			
社会において情報が創造・伝達さ	出力装置	プリンタ、ディスプレイ、アクチュエータ						○			
	入力装置	キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル、						○			
	二次記憶装置	磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD、SSD						○			
	オペレーティングシステム	・モニタリング、マイクロカーネル、仮想機械						○			
情報システムを開発する技術	ミドルウェア	DBMS、トランザクション、ネットワークサービス、							○		
	プログラミング言語と言語	・プログラミング言語(低水準言語/高水準言語、文						○			
	コミュニケーション	非文字的情報、言語情報	○								
	メディア～技術的・文化的	・機械的な情報技術(印刷物関連)―文字情報の									
情報システムを開発する技術	討議、参加、デジタルデバ	読解と読解、参加と排除、情報格差									
	観測、シミュレーション、制	観測の限界、計算の限界、科学的データと意思決									
	情報倫理と社会組織の	表現の自由と責任、知的財産、情報公開、イン									○
	経済システムの存立と情報	モノの生産と制御、ロジスティクスを支える情報シス									
情報技術の基盤にした文化	組織マネジメント	内部情報/外部情報、情報マネジメント、ハブリック									
	アーカイブ	映像、文書、図書館									
	デジタル文化と資本	・SNSの文化							○		
	近代社会の価値と人間	近代社会と情報技術、近代人と情報技術									
情報システムを開発する技術	ポスト近代社会への移行	新たに求められる人間の能力、より民主的な社会									
	要求工学	・現場の観察法(フィールドワーク、エスノグラ									
	システム工学	システム思考、システム設計技法、システム実装技									
	情報システムを記述する技	各種モデル化技法(最適化分析、データモデリン									
情報システムを開発する技術	ソフトウェア工学	・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデル、ド									
	プログラミング技術	・オブジェクト指向プログラミング									
	情報システムの品質を保障	検証技術、テスト技法、ISO/IEC SQuaREシリーズ									
	プロジェクトマネジメント	プロジェクト計画、チーム編成、プロジェクト管理、									
情報システムを開発する技術	情報システムを企画・構想	・組織の改革・改善プロセス、業務モデリング、IT投									
	情報システムの利用	利用計画、利用推進、効果測定、トレーニング、改									
	情報システムの運用、保	ITサービスマネジメント									○
	企業・組織	ビジネスモデル(事業の定義、業務プロセス)、内部									○
情報システムを開発する技術	グローバルな組織と情報シ										
	安全・安心なシステム	・事業継続計画、環境に対する配慮									
	社会制度	・社会におけるさまざまな情報システム、情報システ									○
	法制度	・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アクセス、									○
情報システムを開発する技術	人間の認知特性	・Model Human Processor、人間の認知構造、Fittz									
	ユーザインタフェース設計	ユーザインタフェース指針、ユーザビリティ、アクセ									
	対話手法	・GUI部品、タッチインタフェース、音声インタフェー									
	可視化	情報デザイン、科学的ビジュアライゼーション、デー	○								
情報システムを開発する技術	情報処理・計算・データ分	情報の構造を設計する能力									
	システム化	・システムの体系・構造を理解し表現する能力									
	情報倫理・情報社会	・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極的に									○
	創造性	創造力、構想力、想像力									
情報システムを開発する技術	論理的思考・計算論的思考	・論理的思考能力・論理的厳密さ・演繹する能力									○
	課題発見・問題解決	問題発見能力、問題解決能力、システム思考、クリ									○
	コミュニケーション	コミュニケーション能力、プレゼンテーション能力									○
	チームワーク・リーダーシッ	協調性、リーダーシップ、ストレス耐性									
情報システムを開発する技術	分野開拓・自己啓発	・主体的に学習する能力									

図 6 参照基準への対応—GE

領域名	調査項目名	内容	GE	CS	IS	CE	SE	IT
情報一般の原理	情報と意味(情報は意味)	・生命にとっての意味と価値	●	●				
	情報の種類(広義、狭)	・生命情報(意味作用の源泉、身体技能的な指)	●	●				
	情報と記号(情報は、記)	・類似記号(意味内容と類似したパターン)	●	●				
	記号の意味解釈(意味解)	・人間をふくむ生物個体(記号の自律的な意味)	●	●				
情報の交換と伝達	コミュニケーション(情報)	・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体のモ)	●	●				
	社会的価値の創造(情報)	・個々の選択行動が、試行錯誤や生存競争を	●	●				
	情報量	・シャノン情報量、エントロピー	●	●				
	量子化(離散化)、離散化	・ナイキスト周波数	●	●				
情報の表現・蓄積・管理	圧縮、符号	・データ圧縮、誤り検出訂正	●	●				
	番号	・共通鍵番号、公開鍵番号	●	●				
	データ	・文字コード、数値の表現	●	●				
	データ構造	・配列、木、グラフ、集合	●	●				
情報の認識と分析	データ型	・型検査、型推論	●	●				
	データベース	・データモデル	●	●				
	信号処理	・フィルタリング、ノイズ除去	●	●				
	パターン認識	・音声認識、画像認識	●	●				
計算	機械学習	・教師あり学習、教師なし学習	●	●				
	データマイニング	・回帰分析、クラスタリング	●	●				
	計算モデル	・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)	●	●				
	アルゴリズム	・確率的アルゴリズム、並列アルゴリズム、分散	●	●				
各種の計算・アルゴリズム	計算の限界	・計算可能性、不完全性定理	●	●				
	計算の効率	・計算量、計算量の階層	●	●				
	計算の表現	・プログラミング言語、形式意味論	●	●				
	計算の正しさ	・プログラム論理、検証	●	●				
コンピュータのハードウェア	要素	・文字列探索、整列アルゴリズム	●	●				
	木・グラフアルゴリズム	・二分木、BDD、ゲーム木	●	●				
	数値計算	・行列(逆行列、固有値分解)	●	●				
	シミュレーション	・数値モデル	●	●				
入出力装置	最適化	・線形計画法	●	●				
	計算幾何	・三角形分割、ボロノイ図	●	●				
	自動推論	・選出原理、モデル検査	●	●				
	自然言語処理	・形態素解析、句構造文法	●	●				
基本ソフトウェア	デジタル回路	・半導体、ゲート、VLSI	●	●				
	コンピュータアーキテク	・組み合わせ回路、順序回路	●	●				
	インタフェース	・マイクロアーキテクチャ、制御方式	●	●				
	出力装置	・シリアル、パラレル、ネットワークインタフェース	●	●				
社会において情報	入力装置	・プリンタ、ディスプレイ、アクチュエータ	●	●				
	二次記憶装置	・キーボード、ポインティングデバイス、タッチパ	●	●				
	オペレーティングシステ	・磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD、	●	●				
	ミドルウェア	・モバイルシック、マイクロカーネル、仮想機械	●	●				
情報システムを開発する技術	データベース	・DBMS、トランザクション、ネットワークサービ	●	●				
	プログラミング言語と言	・プログラミング言語(低水準言語/高水準言	●	●				
	コミュニケーション	・非文字的情報、言語情報	●	●				
	メディア～技術的・文化	・機械的な情報技術(印刷物関連)～文字情	●	●				
情報システムを	認識と認識	・認識と認識、参加と排除、情報検索	●	●				
	観測、シミュレーション、	・観測の限界、計算の限界、科学的データと意	●	●				
	情報倫理と社会組織の	・表現の自由と責任、知的財産、情報公開、イン	●	●				
	経済システムと情報	・モノの生産と制御、ロジスティクスを支える情報	●	●				
情報技術の基盤	組織マネジメント	・内部情報/外部情報、情報マネジメント、パブ	●	●				
	アーカイブ	・録像、文書、図書館	●	●				
	デジタル文化と資本	・SNSの文化	●	●				
	近代社会からポ	・近代社会と情報技術、近代人と情報技術	●	●				
情報システムを	ポスト近代社会への移行	・新たに求められる人間の能力、より民主的な社	●	●				
	要求工学	・現場の観察法(フィールドワーク、エスノグラ	●	●				
	システム工学	・システム思考、システム設計技法、システム実	●	●				
	情報システムを記述する	・各種モデル化技法(構造化分析、データモデリ	●	●				
情報システムの	ソフトウェア工学	・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデ	●	●				
	プログラミング技術	・オブジェクト指向プログラミング	●	●				
	情報システムの品質を保	・検証技術、テスト技法、ISO/IEC SQwareシリー	●	●				
	プロジェクトマネジメント	・プロジェクト計画、チーム編成、プロジェクト管	●	●				
情報システムの	情報システムを企画・構	・組織の改革・改善プロセス、業務モデリング、	●	●				
	情報システムの利用	・利用計画、利用推進、効果測定、トレーニング	●	●				
	情報システムの運用、保	・ITサービスマネジメント	●	●				
	企業・組織	・ビジネスモデル(事業の定義、業務プロセス)、	●	●				
情報に関する社	グローバルな組織と情報	・安全・安心なシステム	●	●				
	社会制度	・事業継続計画、環境に対する配慮	●	●				
	法制度	・社会におけるさまざまな情報システム、情報シ	●	●				
	人間の認知特性	・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アク	●	●				
情報学を学ぶ学	ユーザインタフェース設	・Model Human Processor、人間の認知構造、	●	●				
	対話手法	・ユーザインタフェース指針、ユーザビリティ、ア	●	●				
	可視化	・GUI部品、タッチインタフェース、音声インタ	●	●				
	情報デザイン、科学的ビジュアルライゼーション、	・情報デザイン、科学的ビジュアルライゼーション、	●	●				
情報学を学ぶ学	情報処理・計算・データ	・情報の構造を設計する能力	●	●				
	システム化	・システムの体系・構造を理解し表現する能力	●	●				
	情報倫理・情報社会	・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極	●	●				
	創造性	・創造力、想像力、想像力	●	●				
情報学を学ぶ学	論理的思考・計算論的思	・論理的思考能力・論理的厳密さ・演繹する能	●	●				
	課題発見・問題解決	・課題発見能力、問題解決能力、システム思考	●	●				
	コミュニケーション	・コミュニケーション能力、プレゼンテーション能	●	●				
	チームワーク・リーダー	・協働性、リーダーシップ、ストレス耐性	●	●				
ジェネリックスキ	分科開拓・自己啓発	・主体的に学習する能力	●	●				

図 7 参照基準への対応一全て

情報教育カリキュラム標準の策定に関する海外調査

情報教育カリキュラム標準の策定に関する海外調査

目次

1. 概要	1
2. 米国調査	2
3. 欧州調査	14
4. オーストラリア調査	28
5. ソフトウェア技術者の生産性および処遇に関する国際比較	32

WG 構成

掛下 哲郎 (主査)	佐賀大学
上松 恵理子	武蔵野学院大学
斎藤 俊則	星槎大学

1. 概要

海外調査 WG では、「調査項目 1：高等教育機関における、情報学の専門性及び教育段階に応じた情報教育カリキュラム標準の策定に関する調査及び指針の策定」に該当する内容を調査研究した。当 WG では海外動向（アメリカ、オーストラリア、EU）の調査を行い、その結果を各カリキュラム標準の検討 WG にフィードバックした。調査の結果得られた事項を以下にまとめる。調査の詳細については 2 節以降を参照されたい。

1. 米国では、ACM (Association for Computing Machinery) および IEEE-CS (IEEE Computer Society) が中心となって CS 2013 (Computer Science), CE2016 (Computer Engineering), SE2014 (Software Engineering), IS2010 (Information Systems), IT2017 (Information Technology), CSEC2017 (Cyber Security) 等のカリキュラム標準の策定を進めている。このうち CSEC2017 は 2018 年 2 月 22 日に公開されたため、J17 との整合性を図るためには 2018 年度以降も継続的な作業が必要である。
2. ACM は Data Science に関するカリキュラム標準の策定を進めており、今後 2 年程度の時間をかけて取りまとめる予定である。その過程では、産業界に対するニーズ調査も実施される予定である。
3. 米 ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) では情報分野も含む教育認定に取り組んでおり、米国国内の多くの情報専門学科が認定を受けている。ABET は最近、サイバーセキュリティに関する認定基準を策定した。ABET の認定基準と ACM 等のカリキュラム標準の間には直接の連携はないが、サイバーセキュリティについては、ABET の認定基準と CSEC2017 の間で用語の統一が図られている。
4. ACM は CC2020 プロジェクト¹を立ち上げて、情報分野における各種のカリキュラム標準の全体像を明確にする取り組みを進めている。情報処理学会もこの取り組みに参画しており、2012 年 2 月の会合で J17 プロジェクトおよび情報学の参照基準の取り組みについて紹介し、意見交換を行った。
5. 米国では、Stanford 大学 (CS), Hofstra 大学 (CE), Kennesaw 州立大学 (IT) の 3 学科に対する調査を行った。教育カリキュラムは学科毎に特色があるが、教育認定を受けている学科の方が「情報学の参照基準」を幅広く網羅している傾向にある。
6. 欧州では、Bologna Process を通じて高等教育の質保証に取り組んでいる。米国とは異なり、大学教育は 3 年制を採用しているケースが多い。欧州では英国の大学および教育認定の取り組みが特に参考になる。

¹ Clear, A. et al., “CC2020: a vision on computing curricula”, Proc. SIGCSE, pp. 647-648, March 2017.

7. オーストラリアでは、共通知識体系 CBOK を通じた教育認定と IT 資格制度の連携が進んでいる。オーストラリアの大学は多くが 3 年制であり、CBOK を参照してカリキュラムを策定することが多い。
8. ソフトウェア技術者が置かれている状況には国によって大きな差がある。日本のソフトウェア技術者は労働時間が長く、年収においても低い水準にある。米国のソフトウェア技術者は、主観的生産指標や職務満足度が高いことから、人気の職業である。米国の求人票では、求められる能力が明確に定義されており、教育上の指標を与える上でも望ましい。

2. 米国調査

米国における調査は、以下の項目で構成される。

- Stanford 大学 (CS 分野) に対する訪問調査 (含 ACM CS2013 に関するヒアリング)
- Hofstra 大学 (CE 分野) および Kennesaw 州立大学 (IT 分野) に対するメール調査
- ABET/CAC および CSAB に対するメール調査
- CC2020 会合における情報処理学会の取り組み紹介および意見交換

2.1 Stanford 大学 (CS 分野) における情報教育

Stanford 大学は Times Higher Education 世界ランク 3 位として高く評価されている。カリフォルニア州 Palo Alto に位置し、学部学生総数 7,032 名、大学院生総数 9,304 名、教員総数 2,180 名、純資産 347 億ドル (約 3.7 兆円)、年間支出 54 億ドル (約 5,770 億円) の規模を有する。Stanford 大学は私立大学なので、政府から自動的に支給される助成金はない。しかし、各種の外部資金を獲得して費用を賄っている。

本節では Stanford 大学 Department of Computer Science における情報専門教育の概況と教育内容についてまとめる。なお、一部に大学全体に対する情報教育の説明を含む。

- 3 学期制 (秋, 冬, 春) を基本としたクォーター制を実施しており、毎学期の授業は 10 週で構成されている。1 時間の授業を 1 学期実施すると 1 Unit になる (日本と同様、授業時間外の学修は授業時間の 2 倍必要)。1 Course は最低 3 Unit で構成される。
- 教育カリキュラムは以下のとおり、一般教育科目 (全学科共通) と専門教育科目から構成されている。

	科目区分	必要 Unit 数等	備考
育一般科目	Thinking Matters	1 Course	
	Ways of Thinking / Doing	11 Course	
	Writing and Rhetoric	3 Course	

	科目区分	必要 Unit 数等	備考
	Language	4-5 Unit	
専門教育科目	Mathematics	26 Unit	
	Science	11 Unit	
	Technology in Society	1 Class	
	Engineering Fundamentals	13 Unit	
	Track (Core)	15 Unit	トラック毎に履修要件を指定
	Track (Depth, Elective)	25 Unit and 7 Course	
	Senior Project	1 Course	

- 学科としては Computer Science で、学位名称は Bachelor of Computer Science になる。学科の学生は 8 つあるトラックのいずれかを選択して、トラックの履修要件に合わせて授業を履修する。トラックのうち、人気のある Big 4 は以下のとおり。
 - Artificial Intelligence (72 名)
 - Human Computer Interaction (56 名)
 - Systems (50 名) : Operating Systems and Networks
 - Information (49 名) : Databases and Data Science
 - トラック毎の履修要件 (Program Sheet) は以下からダウンロードできる。
<https://cs.stanford.edu/degrees/undergrad/ProgramSheets.shtml>
- Stanford 大学 CS 学科における専門教育科目の構成 (専門分野およびレベル別の科目数) を以下の表に示す。各科目はコース番号によって系統的に分類されており、シラバスは <https://cs.stanford.edu/degrees/undergrad/> から参照できる。

専門分野	レベル							総計
	0	1	2	3	4	5	8	
Introductory, miscellaneous	6	36	6	2	2		8	60
Hardware Systems		2	3	2				7
Artificial Language	3	1	9	4	1	1		19
Numerical Analysis		1	9	5		1		16
Software Systems	5	13	12	6	3	6		45
Mathematical Foundation of Computing	5	3	3	1				12
Analysis of Algorithms	1	5	3	2				11
Computational Biology and Interdisciplinary Topics		1	9	8	2			20
Professional Practice	1	3				1		5
Independent Study and Practicum		36	2	32	8			78
総計	21	101	56	62	16	9	8	273

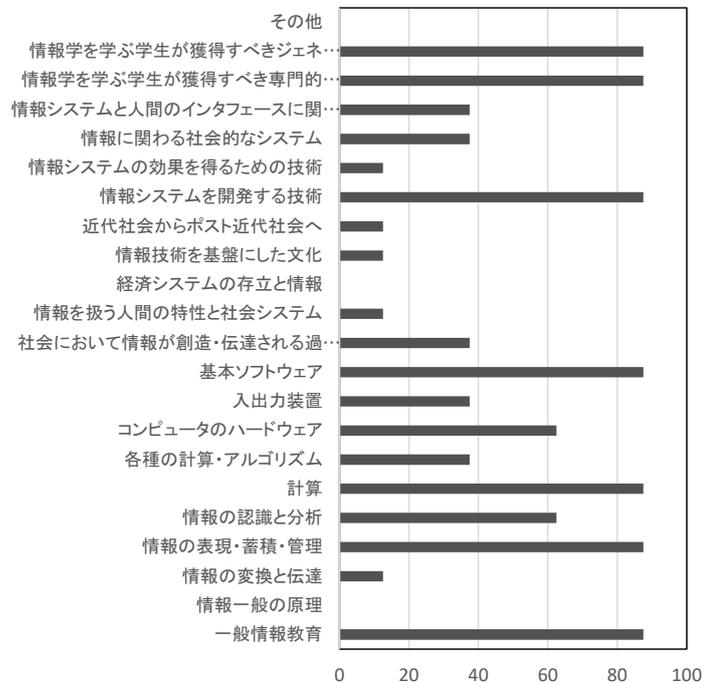
レベルの定義を以下に示す。

レベル	定義	レベル	定義
0	非 CS 学科向け	3	大学院生向け（中級以上）
1	学部生向け（初級）	4	実験的授業
2	学部生向け（中級以上）または大学院生向け（初級）	5	大学院生向けセミナー
		8	その他

- 情報学の参照基準が定義するカテゴリごとの履修率を以下に示す。なお、調査の際には回答者の主観に基づき、以下の基準で Teaching Status の回答を収集し、それに基づいて履修率を推計したため、誤差がある点に注意されたい。また、Stanford 大学の CS 学科はア krediyteshon 認定を受けていないため、「5」のカテゴリはない。

回答	履修率	説明
0	0	不明
1	12.5%	25%以下の学生が履修
2	37.5%	25～50%の学生が履修
3	62.5%	50～75%の学生が履修
4	87.5%	75%以上の学生が履修
5	100%	ア krediyteshon の認定基準で義務化されている

カテゴリ毎の履修率(%)



- 履修率が 75%を超える科目について、対応するコース番号を以下の表のとおり収集した。コース番号からは、対応する科目のシラバスへのリンクを張ってある。

コース番号.	コース名
<u>CS103</u>	Mathematical Foundations of Computing
<u>CS105</u>	Introduction to Computers
<u>CS106A</u>	Programming Methodology
<u>CS106B</u>	Programming Abstractions
<u>CS106X</u>	Programming Abstractions (Accelerated)
<u>CS107</u>	Computer Organization and Systems
<u>CS108</u>	Object-Oriented Systems Design
<u>CS140</u>	Operating Systems and Systems Programming
<u>CS142</u>	Web Applications
<u>CS143</u>	Compilers
<u>CS144</u>	Introduction to Computer Networking
<u>CS145</u>	Introduction to Databases
<u>CS147</u>	Introduction to Human-Computer Interaction Design
<u>CS149</u>	Parallel Computing
<u>CS154</u>	Introduction to Automata and Complexity Theory
<u>CS157</u>	Logic and Automated Reasoning
<u>CS161</u>	Design and Analysis of Algorithms
<u>CS181</u>	Computers, Ethics and Public Policy
<u>CS191</u>	Senior Project
<u>CS194</u>	Software Project
<u>CS210A</u>	Software Project Experience with Corporate Partner
<u>CS210B</u>	Software Project Experience with Corporate Partner
<u>CS247</u>	Human-Computer Interaction Design Studio

- Stanford 大学 CS 学科では, Deep Learning, Data Science 等の先端トピックについて, 学科の承認を得た上で機動的に授業を開講する仕組みがある. こうして蓄積した経験は, CS2013 の策定においても ACM にもフィードバックしている.
- Stanford 大学の CS 学科には, 2005 年頃までは 100 名程度の学生しか在籍していなかった. しかし, 2008 年頃からソフトウェア技術者の人気増大とともに履修希望者が急増し, 現在は 340 名程度に達している. 学科の選択は学生が入学後に行うことになっており, 大学の方針で, 学科毎の学生数には上限を設けていないので, このような状況になっている. 一方で, 教員数は 2000 年頃から 10~20%程度しか増えていない. そのため, 教員負担の増大が大きな問題になっている. TA を多数雇用しているのも, この問題があるためである.
- 学外者に授業を依頼することもあるが, どの授業にも専任教員が共同担当者として入っており, 責任は専任教員が負う.
- 卒業研究はないが, すべての学生は Senior Project または Software Project を行うこ

とが義務付けられている。Senior Project では、教員の指導のもとに研究を行う。Software Project ではソフトウェアを開発する。企業との連携 Project もある。

- ソフトウェア開発プロジェクトを行う場合のシステム開発環境は、教員が個別に用意する。多くは、学生が PC 上に開発環境を構築する。Git, Jenkins, Chef, JUnit 等の共同開発支援ツールの利用は担当教員に任されている。
- Stanford 大学の CS 学科は全学向けの情報教育(CS106A: Programming Methodology. 約 1,500 人が受講) や他学科向けの情報教育の授業も開講している。1,500 人規模の授業を開講するために、CS106A では多数の TA (学部生) を任用している。TA になるためには 1 学期のワークショップを受講してトレーニングを受ける。CS106A では教授が担当する座学を数百名の学生が聞き、その後、10-12 名の小グループに分かれてディスカッションを行う授業が行われる。TA は小グループを担当しており、演習課題の採点も行っている。同様の科目が 3 科目あるが、そのために毎学期 60~100 名の学生を TA として任用している。
- 米国におけるソフトウェア技術者は、給与等の待遇が良いことや仕事に対する満足度が高いことから、人気の職業である。CS 学科卒業生のみを対象とする求人も多いため、どこの大学でも情報系学科は人気がある。情報専門学科を卒業することで、ソフトウェア技術者として就職する際にも有利になる。
- 高校レベルの情報教育は州によって異なる。マサチューセッツ州のようにプログラミング教育を義務化した州もあるが、日本の高校と同様、教員の確保に問題を抱えている。Stanford 大学の入試では SAT を課しているが、その中にも情報系科目は含まれていない。そのため、Stanford 大学では、初歩のコースから提供している。IT スキルが高い入学生もいるが、そうした学生は自らの判断で初歩のコースを履修しない。

2.2 Hofstra 大学 (CE 分野) における情報専門教育

Hofstra 大学はニューヨーク州ロングアイランドにある私立大学である。Hofstra 大学の Computer Science 学科には CS および CE を教育する 2 コースが設置されており、今回は CE コースについて調査を行った。

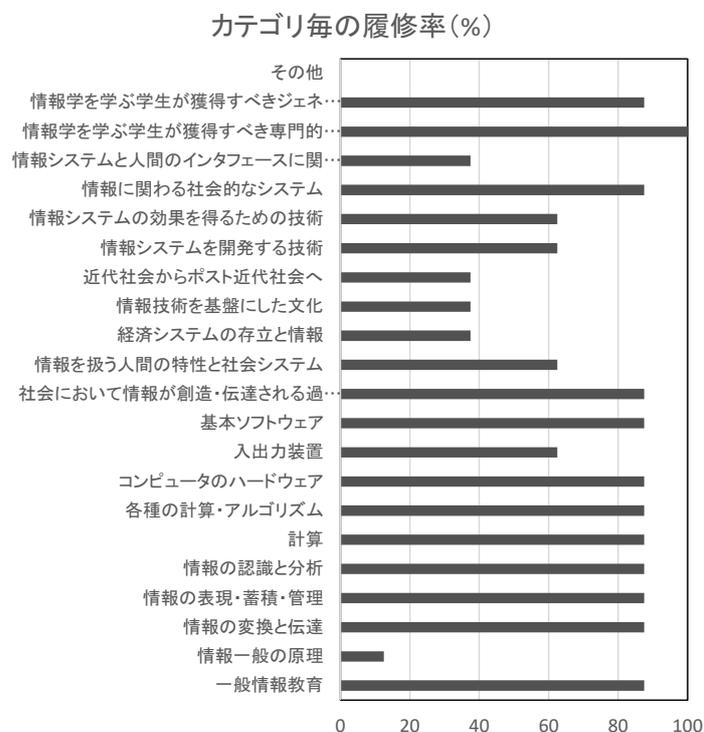
CE コースの学生数は 1 学年当たり 41 名であり、教員数は 8 名の小規模コースである。卒業生のうち 95% は就職し、残る 5% の学生は大学院に進学している。文科系学部と比較すると、情報分野の学位は就職の際にずっと有利に働く。

本学科はサイバーセキュリティ、データサイエンス、コンピュータグラフィックス、ゲームプログラミング、モバイル/Web アプリケーション開発、人工知能、組み込みシステム

等、様々な選択科目も提供している。CE コースの教育カリキュラムは ACM/IEEE CE2016 を参照して設計している。主要な教育用言語としては、Python, C++, Java, アセンブリ言語が挙げられる。

教員は全員、情報分野の学部を卒業しており、日本の情報系学科とは大きく異なる。学生数が比較的少ないこともあり、サポートスタッフや TA (Teaching Assistant) はほとんど活用していない。学生には PC 購入を義務付けており、授業でその PC を使用している。教育用計算機システムは学部で共用している。

次ページに情報学の参照基準のカテゴリ毎の学生の履修率を示す。本コースは、2018 年に ABET の教育認定を受ける予定で準備を進めており、Stanford 大学の履修率分布と比較すると、履修率の高いカテゴリが多い。



2.3 Kennesaw 州立大学 (IT 分野) における情報専門教育

Kennesaw 州立大学はアトランタの北西約 40 キロメートルに位置するジョージア州の州立大学である。今回調査した Information Technology 学科 (以下, IT 学科) は, bestcolleges.com では Best Online College の一つとしても評価されている。また, ABET による教育認定も受けている。

Kennesaw 州立大学の Computing and Software Engineering 学部は IT 学科の他にも CS, IS, SE 分野の学科および大学院も有している。また, 学部のみだが, ゲーム・デザイ

ンや CE 分野を専門とする学科もある。

IT 学科は 4 年間の教育課程で構成されており、学生総数は 636 名、教員はフルタイム 11 名、パートタイム 19 名である。教員は全て IT 分野を専門としている。卒業生は基本的に就職する。文科系の出身者と比較すると就職者の給料は明らかに高く、就職も容易である。しかし、工学部系の他学科の学生と比較すると、大きな差はない。

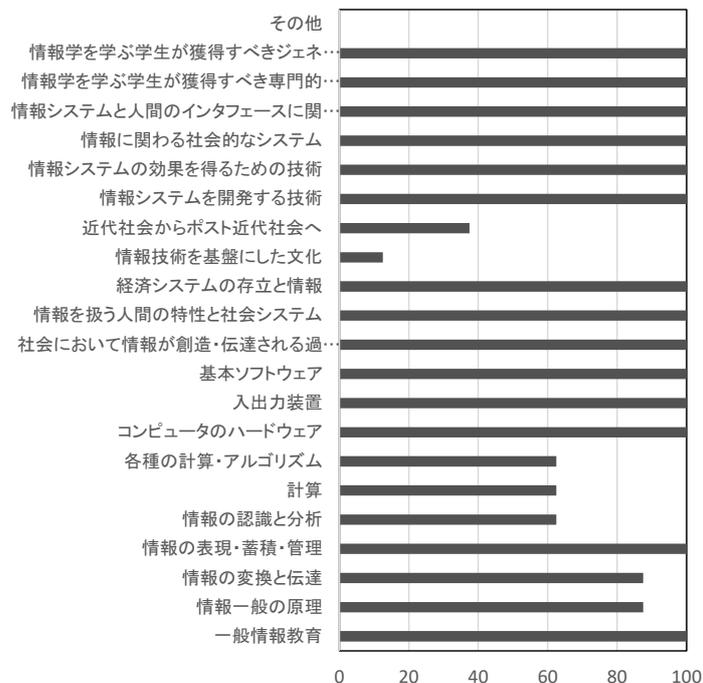
Kennesaw 州立大学の学生には PC 購入を義務付けており、それを授業で使用している。また、教育用計算機システムは全学で共用している。

主要な教育用言語としては、Java, Python, C#が挙げられる。ただ、初年次のプログラミング教育における不合格率が高い点が課題になっており、教育方法の改善を試みている。

IT 学科は ABET の教育認定を受けているため、継続的改善プロセスは文書化されており、それに基づいて教育を実施している。また、専門分野毎にカリキュラム検討 WG を設けており、教育内容が最新のものが常にチェックしている。教育カリキュラムは ACM/IEEE IT2017 を参照して設計している。

以下に情報学の参照基準のカテゴリ毎の学生の履修率を示す。本コースは、ABET の教育認定を受けており、Hofstra 大学の履修率分布と比較すると、履修率の高いカテゴリがさらに多い。このように、ABET の教育認定は、情報分野の広い範囲をバランスよく履修させる上で効果的に働くことが観察される。

カテゴリ毎の履修率(%)



Kennesaw 州立大学では、非情報系学科の学生に対しては、選択科目 ICT2101

(Information and Communication Technology) が開講されている。また、工学部の学生は全員、少なくとも1つのプログラミング科目を履修することになっている。

2.4 情報分野の教育認定（アクレディテーション）

米国において科学技術分野の教育認定を主に担っているのは ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) である。日本の認証評価制度と異なり政府が法的に義務付けている教育認定の仕組みはないため、ABET による教育認定はデファクト標準として多くの大学に普及している。

情報分野においては CSAB (Computer Science Accreditation Board) が ABET の認定基準を策定している。CSAB が策定した最近の認定基準について、CSAB 会長の Stephen Seidman およびサイバーセキュリティを専門とする Allen Parrish に聞き取り調査を行った結果を以下に示す。

質問 1 : ABET および CSAB が最近行った認定基準改定の趣旨はどのようなものか？

回答 : ABET で情報分野の認定審査を担う CAC (Computing Accreditation Commission)

は継続的に認定基準を改訂している。2017 年夏に行った CAC 会合での議論は以下のようなものだった。

- 基本的には Engineering 分野の基準改定に伴う表現の修正が多い。
- 大きな改訂の 1 つとしては、情報分野のプログラムに対して「大学レベル」の数学を義務付けなくなった点が挙げられる。しかし、これによる実質的な影響は、IT 領域のプログラムに限定されると考えている。
- 以前の認定基準には評価が難しい項目が含まれていたもので、文言と場所を改めた。
- CS 領域のプログラムに対して、上級レベルのプロジェクトの実施を義務付けた。
- 全てのプログラムにサイバーセキュリティをある程度教育するように求めた。
- 今後の検討課題としては、教員に対する認定分野の学位要件をどの程度に設定するかが挙げられる。教育プログラムの専任教員は、認定分野に近い Ph.D. の学位を有することが望ましいが、現実にはそうでない教員も多数いるため、この点については多くの議論がある。

質問 2 : ACM および IEEE-CS は CS2013 をはじめとして CS, CE, SE, IS および IT 領域のカリキュラム標準を策定している。これらのカリキュラム標準と CSAB の認定基準の間には連携はあるのか？

回答 : ABET の認定基準と ACM/IEEE-CS のカリキュラム標準は基本的に連携していない。

しかし、両方の委員会に参画している人もいるので、それを通じて相互の整合性が確保されているケースもある。一般的に、ABETの認定基準では、特定の教育項目の推奨を避けるよう努めている。

以上のように、米国におけるカリキュラム標準の策定と教育認定の基準の間には、特段の連携はなかった。しかし、ACM CS2013の策定時には、ACMとCSABの間で意見交換が行われる等、状況は変わりつつある。2.4節でも述べるように、サイバーセキュリティ分野ではカリキュラム標準と認定基準の間で密接な連携が図られている事例も見られる。

2.5 サイバーセキュリティ教育に関する標準カリキュラムと認定基準

ACM および IEEE-CS は、2 年間に渡って CSEC2017 (Cyber Security Education Curriculum) の検討を進めてきたが、2018 年 2 月 22 日に検討結果として CSEC2017 Version 1.0 を公開した²。CSEC2017 の策定には、35 か国から 320 名以上の専門家が参画している。

CSEC2017 は、以下に列挙する 8 つの知識エリア (Knowledge Area, KA) および複数領域にまたがる概念 (crosscutting concepts) から構成されている。

- データセキュリティ：データ保護
- ソフトウェアセキュリティ：セキュアなソフトウェアの開発と活用
- コンポーネントセキュリティ：より大きなシステムに組み込まれる部品に対するセキュリティ
- 接続に関するセキュリティ：部品間の物理的ないし論理的な接続部分に対するセキュリティ
- システムセキュリティ：システム全体に対するセキュリティ
- 個人に関するセキュリティ：個人情報保護およびセキュリティに関する人間の振る舞い
- 組織に関するセキュリティ：組織に関するセキュリティ保護
- 社会に関するセキュリティ：社会に対するサイバーセキュリティの影響や法制度
- 複数領域にまたがる概念：機密性、一貫性、可用性、リスク、敵対的思考 (adversarial thinking)、システム思考など

2.3 節でも述べたように、ABET の認定基準は、カリキュラム標準とは連携せず、独立に策

² <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cs-ec2017.pdf> にて公開されている。

定されることが多いが、サイバーセキュリティに関する認定基準（図 1）は CSEC2017（Cyber Security）との整合化を図るために、様々な努力がなされている。CSEC2017 を図 1 と比較すると分かる通り、コンポーネントセキュリティおよび接続に関するセキュリティは認定基準案からは除外されている。

図 1. ABET におけるサイバーセキュリティの認定基準（概要）

本認定基準は、プログラム名にサイバーセキュリティ等の名称を含む教育プログラムを対象としている。

3. 修了生が持つべき能力に関する要件

ABET/CAC が設定している既存の要件に加えて、以下の能力を有する必要がある。

- 6. セキュリティの原理を適用し、実践する能力
- 7. リスクや脅威に対する対処についてシステムを分析して評価する能力

5. カリキュラムに関する要件

- a. 以下を含む情報分野およびサイバーセキュリティ分野の教育を 45 単位以上含むこと
1. 機密性、一貫性、可用性、リスク、敵対的思考、システム思考など、複数の領域をまたがる概念の適用
 2. 以下の項目に関する基本的事項
 - a. データセキュリティ
 - b. ソフトウェアセキュリティ
 - c. システムセキュリティ
 - d. 個人に関するセキュリティ
 - e. 組織に関するセキュリティ
 - f. 社会に関するセキュリティ
 3. 複数の領域にまたがる概念や基本的事項の理解を深めるための高度なトピック
- b. 少なくとも 6 学期に渡る数学（離散数学および統計学を含む）

2.6 データサイエンス教育に関する標準カリキュラム

Stanford 大学を訪問して、Computer Science Department の Mehran Sahani 教授（ACM CS2013 の策定における Steering Committee co-Chair）の話を聞いた。ACM でも Data Science のカリキュラム標準の検討を進めているとのことである。

Data Science に関しては、各大学が採用しているカリキュラムの間に以下のような大きな違いがある。

- データベース（DB）技術を基盤とするもの
- 人工知能（AI）技術を基盤とするもの
- 統計学や応用数学を基盤とするもの

これらのうち統計学や応用数学を基盤とするものは、Computing Discipline とは言えない

め、ACM が策定するカリキュラム標準の基盤にはなり得ない、と考えている。しかし、例えば DB と AI の間での立場の違いもあるので、議論は難航している。そのため、Data Science のカリキュラム標準については、今後 2 年程度をかけて検討を進める予定である。

こうした議論に決着をつけるために、Data Scientist が持つべき能力について、米国の企業はどのように考えているか、についても質問した。LinkedIn 等に掲載される米国企業の求人を見ると、Job description や Required ability が明確に定義されている。そのため、求人票を調査することで、産業界のニーズにとも合致するカリキュラム標準が策定できるのではないか、と考えたためである。

それに対して、現在、そのような調査を実施しているところ、との回答が得られた。さらに、「こうした調査を踏まえたカリキュラム標準を策定することで、大学の立場からも、産業界の立場からも有益」との回答を得た。

日本においても、「データサイエンス」と銘打ったカリキュラムには様々な立場のものが混在している。そのため、データサイエンスに関するカリキュラム標準の策定に当たっては、同様の問題が発生している。産業界との連携を通じて調整を図る手法は、日本でも有効に機能することが期待される。

2.7 CC2020 プロジェクトとの意見交換

Stanford 大学を訪問した際、ACM で CS2013 の議論をしたとき、どのようなタイミングで CS カリキュラムを改訂すべきかが議論になる、との話を聞いた。日本ではどのようにしているか、との質問があったため、日本では 10 年毎に改訂することになっている、との説明を行った。その理由は、カリキュラム標準の策定・公開後、各大学がそれを踏まえたカリキュラムを策定・実施するために 2 年程度の準備期間を要し、実際に教育を行うためにさらに 4 年間の時間を要する。大学からのフィードバックを得るのはその後になるため、次期カリキュラム標準の検討期間を考慮すると、10 年程度の周期でカリキュラム標準の改訂を行うのが妥当と考えられるためである。こうした意見交換は、先方からも好意的に受け止められた。

また、2.2 節で述べた調査の過程で、Hofstra 大学の John Impagliazzo 名誉教授 (CE2016 委員長, IT2017 委員) との間で情報学の参照基準や J17 プロジェクトに関する意見交換を行った。ACM および IEEE-CS が策定している各種のカリキュラム標準は、それぞれ異なるコミュニティが策定に当たっているため用語の統一がされておらず、相互の関係を把握するのが難しい。そのため、日本では「情報学の参照基準」を策定して共通語彙とし、J17 を構成する各種のカリキュラム標準は、情報学の参照基準との間のマッピングを定義する

ことで、相互関係の明確化を図っている。その議論を通じて以下の提案を頂いた。

高田 眞吾 教授（慶應義塾大学）が CC2020 に情報処理学会代表として参画している。CC2020 の次回会合が 2018 年 2 月にあるが、その時に「情報学の参照基準」と「J17 における各領域と参照基準のマッピングについての取り組み」を CC2020 メンバーに紹介してほしい。そうすれば、CC2020 の文書に日本での取り組みを盛り込むことも検討できる。

そこで、高田教授に情報処理学会が行っている以下の取り組みの紹介を依頼した。

- 情報学の参照基準³（海外調査 WG が詳細項目の英語化作業を行った）
- J17 カリキュラム標準策定プロジェクトにおける各領域と参照基準のマッピング（対応表は英語版でも作成した）
- J17 を考慮した JABEE 認定基準の改訂
- 2016 年度に行った国内大学における情報教育に関する調査⁴

高田教授からの速報によると、competency が今回の CC2020 会合における大きなポイントになっている関係で、日本の取り組みに興味を持って頂いた方が数名いたそうである。

その後、Impagliazzo 名誉教授からは、以下に示すかなり大きな提案も頂いた。

日本では情報分野のカリキュラム標準策定に注力しているので、情報処理学会として情報分野のカリキュラム標準策定をテーマとした国際的なサミットを計画してはどうか。中国の情報専門学会や教育省も情報教育に強い関心を示しており、CS2013 や CE2016 には中国語に翻訳された版もある。IT2017 の中国語版も発表される見込みである。

本稿執筆時点で、IFIP (International Federation of Information Processing) の WCCE 2021 (World Conference on Computer in Education) を日本（広島）に誘致する計画がある。WCCE が開催される 2021 年は、ACM/IEEE-CS が CC2020 を出す予定の年の翌年に当たる。また、中国は教育省も含めて情報教育に関する活動を熱心に行っているとの情報も得たため、これらの取り組みに声を掛けて主要な方に参加して頂き、WCCE 2021 で Educational Summit を企画することも検討したい。

³ Masami Hagiya, “Defining informatics across bun-kei and ri-kei”, *Journal of Information Processing*, Vol. 23, No. 4, pp. 525-530, July 2015.

⁴ Tetsuro Kakeshita, “National survey of Japanese universities on IT education”, Proc. CSEDU 2017, pp. 607-618, April 2017.

3. 欧州調査

3.1 欧州における情報学の状況—Informatics Europe より—

欧州における情報学の状況調査の一環として、2018年1月30日に Informatics Europe の代表である Enrico Nardelli 教授と事務的な役割を担う Christina Pereira 博士に欧州における情報教育の状況と Informatics Europe についてインタビューした。

Informatics Europe はヨーロッパの情報科学の発展を目的に大学の情報系学部と企業、研究所を結ぶ団体である。2005年の会議から始まり、2006年にスイスで非営利団体として立ち上がった。現在、30カ国から125の団体（大学の学部・研究機関など）情報学を研究する大学がこの分野の教育、研究、問題意識の強化のために結集している。Nardelli 教授の説明によれば、情報学が科学の一分野として理解されること、そして社会に対して情報学の正しい知識を普及させることを目的に、情報学の研究教育を行う全ての学術教育機関や関連企業のネットワーク化を目指しているという。政府機関はこの団体のメンバーにはなれないが、Microsoft や Google などの企業がメンバーとなっている。他にも様々な組織と協働している。

Informatics Europe にとって ACM ヨーロッパは最も親しい協力関係にある団体であり、両者は共通する問題意識を持ちながら課題に取り組んでいる。そのような課題の1つにヨーロッパでの情報学教育がある。両者は2017年3月に欧州委員会 (European Commission) として各学校による情報教育の重要性に関する談話を発表し、またレポートも共同で公表している。加えて、この課題に関してワーキンググループを作っており、報告書を出したりジョイントして課題解決に繋げたりしている。これら学校教育に関する取り組みの他に、共通課題としては AI の機械学習などが取り上げられている。

このように Informatics Europe は ACM ヨーロッパと協働しつつ情報学を構成する諸概念を作り出すことを通してこの分野の知識整備に努めている。また、Informatics Europe の中で、大学の学部長たちが集結する会議においても ACM ヨーロッパとの協力関係が確認されている。

また、Nardelli 教授は Informatics Europe の組織はボランティアベースで運営される点を強調している。基本的にこの団体はメンバーの会費で運営される。また企業会員は会員費を払いアワードなどの支援をしている。この方が会の独立性が高まり、特定企業のカラーが打ち出される懸念が少ないと考えている。例えばアワードで特定企業が賞金を出す場合があっても、そのアワードの審査員にその企業の関係者は入れない。

加えて、Informatics Europe では、情報学教育の解釈や運用に関して、国による相違を

尊重している。例えばカリキュラム標準は各国で使われる用語の種類や意味について見解が異なるため存在しない。その背景には、それぞれの国の歴史や教育制度の違いもある。このような前提から、特に **Informatics Europe** がこの分野について行った調査データはないという。**Informatics Europe** は基本的には情報学のカリキュラム標準はそれぞれの国が考えていくべきものであろうという前提に立つ。

ただし、Nardelli 教授は、実際にはヨーロッパ各国の情報学教育は ACM カリキュラムをベースにしているところが多いと考えている。ヨーロッパにはそれ以外に標準と呼べるものはないからである。実際に、イタリアでは ACM カリキュラム標準から 40 項目ほどを引用しているという。また、各国の資料はそれぞれの国の言語で書かれているため、統合するというのは大変であると予想される。

また、**Informatics Europe** は教育および政策において女性を対象とする情報学の理解の推進に取り組んでいる。例えばイギリスでは情報学に取り組む女性の比率が博士課程に至る間に段階的に下がる傾向がある。同団体における学長、学部長、上級教員指導者の会合では、出席者がそれぞれの所属する学部においてどうすれば女性の比率を拡大できるのかといった議論をしている。さらにベストプラクティス推進の観点から、ヨーロッパにおいて情報学教育の質と学問の魅力を向上させる優れた教育イニシアチブを表彰する年次賞、ミネルヴァ情報学賞、情報学の研究と教育における女性のキャリアを奨励し支援するベストプラクティスを表彰する賞などがある。2018 年には、教育の全面的なジェンダーバランスの見直しについて、特に女性の入学率および卒業率の向上、奨学金受給者のジェンダー比率の適正化と奨学金やその他の財政支援の拡充、ジェンダーに基づいたカリキュラムの改善、客観的なスタッフ調査や学生の経験の記録などが行われている。広告に **Microsoft** が、アワードは **Google** がそれぞれ出資している。

過去の主催会議の基調講演はそれぞれの分野で実績のある著名人が行い、スピーカーは世界で最も尊敬され受賞歴の多い研究者を呼んでいる。またサミットやアワードも行っており、特に欧州コンピュータサイエンスサミットが知られている。これは、情報学教育の質向上を目指す共同プロジェクトである。

Informatics Europe はオンラインリソースや研究および教育のディレクトリを提供している。たとえば研究グループの活動の詳細情報に直接アクセスすることができる、ヨーロッパ全域の情報・コンピュータサイエンスの研究部門と研究所の広範なデータベースがある。これらによって情報学および関連分野における科学的立場のためのジョブプラットフォームとなることを意図している。出版物（オープンアクセス/データ/ソフトウェア）もある。

3.2 スイスの事例

2018年1月30日、Zurich大学の情報学部長のAbraham Bernstein教授にインタビューした内容をもとに、スイスの情報学教育とZurich大学の事例を報告する。

3.2.1 スイスの情報教育の背景

スイスでは中学生の約20%しか高校に進級しない。そのため一般教育としての情報教育は事実上成立していない。大学の情報教育を理解する上ではこの背景を考慮しなくてはならない。高校に進級しない生徒は技術的な専門教育を受けることになる。他国のバカロレアのテストを受けてそちらに行くというケースも少ないがある。進級する高校生たちは皆、同じ内容の勉強をしている。その中でさらに5%は専門性がある勉強をする。加えて古代ギリシャ語やラテン語や法律を学ぶ。

Bernstein教授によれば、大学生のコンピュータスキルは大変低いという。大学の1年生でキーボードをうまく打てない学生も大学の情報学部に入る。これは高校で学んだことと違う分野を専攻することが認められているからであり、大学入学のための制度がそうになっているという。しかし大学関係者がこのような状況を危惧しているため、新しく高校に週2時間のコンピュータを学ぶための教科を立ち上げる予定になっている。この教科では、コンピュータサイエンスとプログラミング、メディア教育、デジタルリテラシーなどコンピュータが関わる幅広い事柄を学ぶことが想定されている。スイスは自治体によって教育条件が大きく異なるが、おそらく数年以内には全ての自治体がそうになるとBernstein教授は予想する。

新教科を立ち上げる理由についてBernstein教授は、従来コンピュータの学習がカリキュラムに位置付けられなかったせいで、生徒がコンピュータを学ぶ機会は教師次第であったことを危惧する声が高まってきたという経緯を説明した。高校の専攻が文科系であっても情報学部に入學可能であり、たとえば高校でギリシャ語やラテン語を専攻して勉強し、大学でコンピュータの専門を学ぶというケースは稀なことではない。大学に入ることはこれまでの勉強をリセットするという考え方も共有されている。

またBernstein教授は自治体によって教育の実施に違いがあることは実態としてであると述べた。共通の事柄としては希望すれば全ての高校生が大学に進学するわけではない点が挙げられる。80%もの高校に行かない生徒の中でコンピュータを教えてもらい仕事をする者ももちろんいるため、その中からプログラミングやネットデザインをするプロフェッショナルとして就職する者もいる。さらに、その中で進学したい者はロンドン大学などで学士号を3年かけて取理、それからスイスの修士課程に進学する学生もいるという。制度上

は高校に通わなくても修士号の学位を取得することができる。むしろ、そういう学生はモチベーションが高く、宿題をもっと出してほしいと言うケースが多いという。また、このように高校に通学しなかった学生は、社会に出てからモチベーションを持ち、本当に勉強したくて大学に入学して来ているので成績も上位のケースが多いという。こういった高校に行かなくても社会に出てからまた勉強をするために大学に進学することの可能なこの制度はスイスとドイツの独自の制度かもしれないが、スイスの企業の最高責任者の中には大学に進学せず、社会に出てからまた大学に進学した人物が多い。スイスの最大手の銀行の元頭取もそのケースにあたるが現在は名誉博士のような立場にある。

3.2.2 Zurich 大学における情報専門学科の事例

Bologna Process⁵ により、スイスの Zurich 大学は ACM カリキュラムを参照している。ハードウェアに関する学部はないが、その代わりに、経済、アドミニストレーションの科目が設置されている。1 年生は、ビジネスアドミニストレーション、アルゴリズム・基礎プログラミング、人間工学・ヒューマンコンピュータインタラクションのクラスが設置される。2 年生は以下の 4 分野から選択することができる。

1. Information Systems (ビジネスの観点による)
2. Software Systems (ソフトウェア開発)
3. People-Oriented Computing (人間と機械がどうかかわるか)
4. Computing and Economics (コンピュータサイエンスと経済学, ミクロ経済学と共通する内容を扱うが、オプションでコンピュータのメカニズムデザインなどを行っている)

修士課程は 5 つの専攻領域から成っている。そのうちの 4 つは学士課程と共通であり、さらにデータサイエンスが加わる。修士課程ではその中から専攻と副専攻を選択する。副専攻の選択にカリキュラム上の制約はない。多くの学生は就職に活かすことができるものを選ぶケースが多いという。就職先は、スイス国内では銀行が多いため、銀行を就職先にするを前提に単位を取るという事例が多い。また言語学部にはコンピュータ言語学があるため、言語分析や自動翻訳などをマイナーで学ぶ学生もいる。最も稀なケースとしては、他大学の修士課程、たとえば Zurich 芸術大学ゲーム・デザインのコースに行く事例もある。大部分は同じ大学同じ大学の修士号に進学する。

プログラミングの学習については、データベースの科目を履修する場合にデータ分析を

⁵ 高等教育における学位認定の質と水準を同一レベルとして扱うための整備を目的とする相互協定。現在、ヨーロッパ諸国 47 カ国が参加し、49 カ国が調印している。

するためにプログラミングが必要となる。しかし他の科目では行っていないため、情報学部以外の学部在籍者はプログラミングを学ぶ機会がない。したがってプログラミングができない学生であってもこの学科を卒業することができる。

2年前、Zurich 大学では ACM のカリキュラム標準を引用して情報学部のカリキュラムを刷新した。Informatics Europe からの情報も参考にしつつ、カリキュラム標準の中から学部のために必要のない科目を適宜外し、Zurich 大学に合うように変更した。

Zurich 大学の卒業生は 70%から 80%がそのまま大学院に進学するが、修士から入学する学生は国外から来る場合もある。Bernstein 教授は、国外の学生でも修士で受け入れた以上はしっかり勉強してもらいしっかり就職もしてもらいたいと考えている。

大学は出身高校には関係なく入試で学生の受け入れを決める。情報学部に来る学生は数学が得意な者が一般的には多いと Bernstein 教授は認識している。

3.3 英国の事例

英国では Cambridge 大学, King's College London 大学, Warwick 大学の調査を行った。

3.3.1 Cambridge 大学における情報専門学科の事例

2018 年 1 月 31 日（水）に、Cambridge 大学 Computer Laboratory の Robert Harle 教授に話を伺った内容をまとめた。

I. 勉強熱心な学生たち

Cambridge 大学は 3 学期制であり、授業履修に関して単位制度ではなく時間制度を取っている。Computer Laboratory には教員は約 50 名、1 学年約 100 名の学生が在籍する。教員の契約上の責務は年に 40 時間の講座を担当することである。

学生は入学してから 1 年生の段階において、75%は Computer Science という必修のコースを受けることになっている。残りの 25%は高校で勉強していた数学の続きと、他には自然科学なども勉強する。

学部 1 年生の終わりに 4 つの試験がある。1~3 がコンピュータサイエンス系、4 目が数学である。1 年間勉強した内容が全てこの試験でカバーされ、1 つの試験が 60 時間（1 学期分 24 時間、2 学期分 24 時間、3 学期分 12 時間）に相当する内容である。1 つのコンテンツでそれぞれ 1 年間に 240 時間（60 時間×4 コンテンツ試験）を勉強する。

このようにしっかりとした時間数を学習する学生たちであるが、他方、Harle 教授によれば学生たちが自分で探求する時間がないという点を問題視する意見もあるとのことである。科目の課題によらない探究的な学習は夏休みなどの休暇にするしかない。授業は 8 週間×3

学期に渡って行われており、残る約 20 週間が休みとなる。

II. Super Vision

Cambridge 大学では講義の他に Super Vision と呼ぶ少人数の授業を行っている。これは教員 1 人に 3 人程度の少人数の学生がエッセイ等を執筆し、輪読ののち感想を述べあう時間である。教員と 1 対 1 で話をする貴重な時間である。数人の生徒が 1 年次は 1 週間に 4 時間の Super Vision の授業を受ける。その準備時間は、5 時間から 7 時間に及ぶ。

III. 学部 1 年生に対する情報専門教育

入学時点では IT スキルが低い学生もいるので、1 年次教育では、全員が同じレベルになるように、IT の基礎を教えている。1 年生の学習内容はプログラミング、ハードウェア、理論（基礎理論および AI など。実用や活用法も含む）、数学の 4 領域に大別される。

1 年生の成績の 20% が演習（Practical）によって決まる。演習では実践的なプログラミングの課題に対して 1 週間考えて、解題を Web で提出して教員と議論をする。博士課程の学生が成績をつける場合もある。学生は講義室で講義を聴くのではなく、およそ 3 時間の間に実験ルームと教室を行き来する。課題には合格するまでに何回挑戦してもよい。

1 年生の終わりで一番重要なのは、学生たちが「プログラミング言語を複数使えること」「アルゴリズムの分析ができること」「離散数学の証明ができること」である。この 3 点は全て必須の項目である。プログラミングは Java と ML→OCaml, Python, SQL である。高校生の頃から家庭において学校で教わらずに Raspberry Pi を扱っていた学生もいる。Raspberry Pi は Cambridge 大学で開発された。Raspberry Pi 財団のメンバー 3 人は今でも大学にいる。1 年生は 1 週間に 4 時間ほどの Super Vision の授業を受ける。

IV. 学部 2 年生に対する情報専門教育

2 年生は全員がコンピュータサイエンスの授業を受ける。学習内容はプログラミング、ハードウェア、理論、アプリケーション（AI, グラフィックス, ソフトウェア開発も含まれる）の 4 領域に大別される。学習時間の合計は 200 時間程度と見込まれる。これらの全てを習得しなければ 3 年生になるための試験をパスできない。これに伴い、Super Vision の時間が減少する。

2 年生では最終成績における 20% の割合を Group Project と呼ばれる実践部分の成績評価が占める。もともと、Cambridge 大学の学生はグループワークが苦手ということで始められたものである。Group Project では、まず学生が 6, 7 名のグループを組む。そして、企業から年間 60 時間～70 時間で解決できるようなプロジェクト課題を学生たちに出しても

らい、学生たちがそのコンサルタントをつとめる。この実践を教員の立場からみると、学生たちは優秀なコンサルタントになっているケースが多くある。そのため、Group Projectの後に、企業からインターシップの申し込みがあった学生もいたそうである。

この Group Project は 10 年前から始められた。2 学期目 2 週間目という試験に差しさわりのないような時期に実施する。Google など大きな企業に対して、学生側がコンサルタントをし、企業との打ち合わせは 2 週間に 1 回ほどである。例えばある企業からは医療関連データの可視化がしたいというような提案が課題として出される。このようなケースでは、学生たちがその企業のビックデータ処理を担当することもある。Microsoft の課題では LEGO 制作を手伝ったり、他の会社では自動チェス機械を使ったりする事例もあった。VR プロジェクトでは、ヘッドセットにデータを入れたというユニークな事例もあった。

V. 学部 3 年生に対する情報専門教育

1, 2 年生を終了すれば ACM, IEEE, BCS が規定した教育内容はカバーされる。すなわち、コアのコンピュータサイエンスを 2 年で終了するという高標準のレベルである。3 年生からは附属コースがある。全ての教科の授業をバッティングしないよう時間割を作っているため、希望すれば全ての教科を履修できる。

試験は 3 つの項目で行われ、それぞれに 15 個の問題が用意されている。各項目について 5 個ずつの問題を受ける必要がある。3 年生で特徴的なことは卒業論文がある。卒業論文は 1 年間をかけてじっくりと書く。研究論文ではなくコンピュータサイエンスに関する自分の知識を示すためのものである。

VI. 4 年生（修士課程）に対する情報専門教育

イギリスでは学士課程は 1~3 年次までであり、4 年生は修士課程である。つまり、3 年生を終われば学士号を取得できる。そのまま修士課程に行く学生もいれば、外部から修士号を取るコースもある。4 年生が終われば博士課程がある。

3 年生から 4 年生に進級するには、例年、学年のトップ 25% の成績である必要がある。全体の 10% しか 4 年生の修士課程に進学することができなかった年もある。今年はトップ 35 人が 4 年生になったが、専門知識のレベルが高い学生が特に多かったためである。

モジュール（科目）が 55 個あり最低 5 つをその中から選んで履修しなければならない。ここには教員による裁量がありモジュールごとに評価の方法が違う。先生次第で長文の研究論文も書き、最も良い論文は出版される。3 年生の論文は 1 万ワード程度でセクションや形式が決まっているが、4 年生になると自由になる。学生は就職希望（IBM, Google などの有名企業を含む）が多い。企業は報酬がかなり高いため学生は研究の道にはなかなか進

まない。企業の側は Cambridge 大学の学生たちを早期から狙っている。

4 年生を終え進学すれば博士号を取得できる。Cambridge 大学の Computer Laboratory にいる学生の半数は留学生である。彼らの出身国は東欧やバルト三国，たとえばリトアニア，ブルガリア，ルーマニアなどの国のトップレベルの学生で占められている。

VII. プログラミング教育

学生のプログラミングの学習状況は近年急激に変化している。5 年前から英国政府の方針により，小中高の教科 Computing の学習範囲に CS（コンピュータサイエンス）が入ったこともあり，大学に入る前の時点で 90%以上の学生がプログラミングを経験している。ただし，日本と同様，教科 Computing を教える教員の訓練が不十分であることから，大学はその学習効果を過大評価はしていない。

小中高校にプログラミング教育が導入されたことで学生のプログラミングスキルが高まったとしても，Cambridge 大学としてはカリキュラムを変えるつもりはない。もちろん，そういった学生のニーズに沿ったサポートは行っている。

Cambridge 大学にとっては，いつからプログラミングを学び始めたかは重要ではない。大学が求めている学生とは「教えられた以上に考えることができる人」であり，プログラミングについては「ある程度やったことがある」程度で十分である。その理由は大学に入ってからプログラミングが嫌いになると困るからである。

VIII. カリキュラム

以下に Cambridge 大学 Department of Computer Science and Technology のカリキュラム表（1～3 年次）を示す。表中の数字は授業時間数である。学生は CST 75%と CST 50%のいずれかのコースを選択する。CST 75%の場合は，履修内容の 75%がコンピュータサイエンス，残りの 25%が数学である。CST 50%の場合は，履修内容の 50%がコンピュータサイエンス，25%が数学，25%が自然科学，理学，行動科学のいずれかである。

1A = CST 75% 一年生（全て必修科目）

L = lecture 講義時間

1B = CST 50% 一年生（全て必修科目）

P = practical 演習時間

2A = CST 75% 二年生（全て必修科目）

S = supervision Super Vision

2B = CST 50% 二年生（全て必修科目）

*オンライン講義

3 = 三年生（全て選択科目）

専門分野	レベル・区分														
	1A			1B			2A			2B			3		
	L	P	S	L	P	S	L	P	S	L	P	S	L	P	S
Foundations of Computer science	12	5	3-4	12	5	3-4									
Object-oriented programming	12	5	3-4	12	5	3-4									
Digital Electronics	12	7	3-4	12	7	3-4									
Discrete Mathematics	24		6-8	24		6-8									
Databases	8	4	3							8	4	3			
Graphics	8	4	2				8		2	8	4	2	16		4
Scientific Computing Practical Course	1+5*			1+5*											
Algorithms	24	3	6-8	24	3	6-8							12		3
Operating Systems	12		3-4	12		3-4									
Machine Learning and real world data	16		4							16		4			
Numerical methods	12		4	12		4									
Software and security engineering	11		3	11		3									
Interaction design	8	7	2							8	7	2			
Computer design							18		5	18		5			
Concurrent and distributed systems							16		4	16		4			
ECAD and Architecture practical classes								8			8				
Economics, law and ethics							8		2						
Foundations of Data Science							12	4	3	12	4	3			
Further Java								5	2		5	2			
Group project							1			1					
Programming in C							10		3	10		3			
Prolog							8		2						
Semantics of Programming Languages							12		3	12		3			
Unix tools							8		1	8		1			
Compiler (construction,							16		4	16		4	16		4

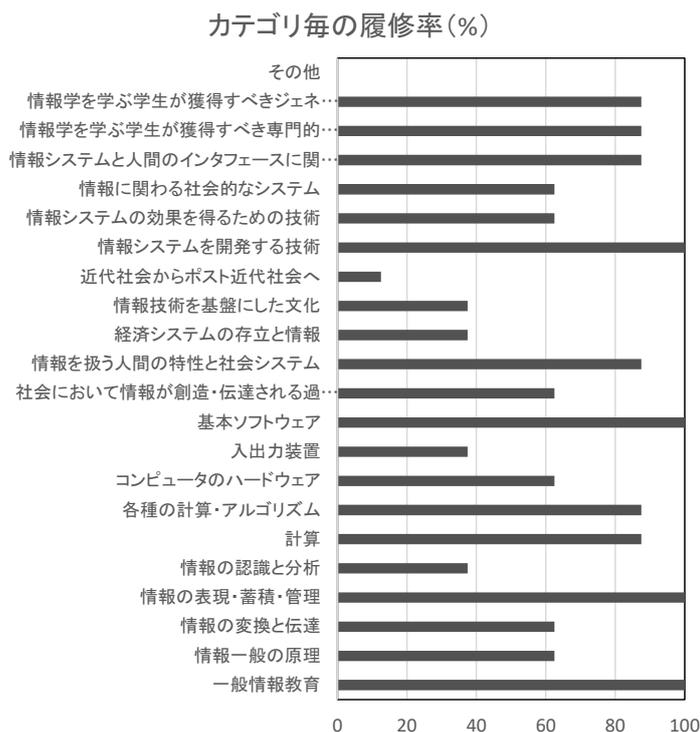
optimizing, design)																	
Computation theory							12		3	12		3					
Computer networking							20		5	20		5					
Human-Computer interaction							8		2				8				2
Logic and Proof							12		3	12		3					
Artificial Intelligence							12		3	12		3					
Complexity Theory							12		3	12		3					
Concepts in Programming Languages							8		2								
Formal Models of Language							8		2								
Security							12		3	12		3	16				4
Bioinformatics													12				3
Business studies													16				2
Denotational Semantics													10				3
Digital Signal processing													12				3
Information theory													12				
LaTeX and MATLAB													2				1
Natural language processing													12				3
Principles of Communications													24				6
Quantum computing													8				2
Types													12				3
Comparative Architectures													16				4
Computer systems modeling													12				3
Computer vision													16				
E-commerce													8				2
Information retrieval													8				2
Machine learning and Bayesian inference													16				4
Mobile and sensor systems													11				3
System-on-chip design													12				3
Topical issues													8				2
Hoare logic and model checking													12				3

3.3.2 英国 King's College London 大学の情報専門学科の事例

A) 学部概要と履修状況

King's College London 大学の情報学科 (Department of Informatics) は 1 学年の学生数 300 名, 教員数 45 名の大規模学科である。学科の規模が大きいため, 支援スタッフや TA をフルに活用しており, 学生 20 名について 1 名程度の TA を割り当てている。大学全体で共用の教育用計算機システムを導入しており, 学生は自分の PC を任意で購入している。プログラミング学習環境として, 全学では BlueJ (<https://www.bluej.org/>) を, 学部レベルでは Greenfoot (<https://www.greenfoot.org/door>) をそれぞれ活用しており, 非常にうまく行っている。どちらの学習環境も Michael Kölling 教授のグループが開発したものである。

以下に情報学の参照基準のカテゴリ毎の学生の履修率を示す。本学科は BCS (British Computer Society) の教育認定を受けており, 厳格なコアカリキュラムを求められるため, 多くのカテゴリで履修率が高い。



B) 在籍教員へのインタビュー

2018 年 2 月 2 日に Kölling 教授にインタビューを行った。

King's College London 大学の情報学部のカリキュラムは ACM が創設される前から存在する。それゆえに, ACM のカリキュラム標準を直接的には参照していない。また, BCS のアクレディテーションについては 1 つの資料として参考になっている。また, ボローニャ・プロセスによるカリキュラム改編により学部間の繋がりが多カリキュラムが導入された。

King's College の情報学部については、医学部との連携が強いのが有名である。

学生は入学前に「コンピューティングの勉強をして入学しなければならないという必要性はない」と考えられており、コンピュータの知識や技量の部分でレベルの幅がかなりある。しかし、高校の A レベルにおいては数学においてテクニカルな A レベルを受けていなければならない。

とはいえ、近年は小中高校における教科 Computing の必修化に伴い、「コンピューティングの勉強をして入学しなければならないという必要性はない」という考え方を見直さなければならないと考え始めている。たとえば学生の中にコンピュータの経験や知識のない者がいる場合、コンピュータスキルのある学生が授業に興味を失ってしまうことは問題である。しかし、今の段階ではまだコンピュータのスキルが高くない学生が多い。1 年生ではプログラミング入門をおこなっており、主に Python が学習に用いられる。

C) 卒業生の進路

King's College London 大学では学生の多くが就職を希望する。3 年間の学士課程と 4 年間の学士課程（3 年プラス企業体験 1 年）があり、それ以外に、4 年間で学士号と修士号とを続けて取得するコースがある。後者の学生は全体のおよそ 15% にあたる。学士号を取得した時点で修士課程への進学を希望する学生は少ない。最大の理由は情報学部の卒業生は卒業後すぐに就職ができて給料報酬がとても高いからであると考えられる。実際、この大学の情報学部の学生は、就職を希望する前の段階から企業からのオファーが来る。オファーを出す企業は主に IT 企業、金融機関、保険会社などである。平均でいえば、同大学の他の学部の学生よりも入社した時点の賃金は高い。インターンシップなどでも学生たちは報酬を得ることができる。スタッフ社員よりもインターンシップに来た学生の方の報酬が良かったというエピソードがある。このような状況から、King's College London 大学では 1 年間のインターンシップの制度を伸ばす方向でカリキュラムの見直しを行った。

一方で、教員になる学生はとても少ない。これには教員の給料が低いことも関係している。King's College London 大学では卒業生が 1 年間だけ教員として行きたくないような学校に行くという Teach First というプロジェクト制度があるが情報学部にはない。大学によっては、1 つのモジュールとして Computing in School という制度がある。学生が学校に教えに行くというものだが、King's College London 大学にはその制度はない。

3.3.3 英国 Warwick 大学のサイバーセキュリティ教育の事例

Warwick 大学の Carsten Maple 教授に 2018 年 2 月 1 日にインタビューを行った。Maple 教授は Council of Professors and Heads of Computing の代表である。以下はそのインタビ

ューの概要である。

Warwick 大学のサイバーセキュリティセンターではコンピュータサイエンスは 3 年間で 4 年間の学士号コースがあり、いくつかの種類 of 修士号を取得することができる。サイバーセキュリティセンターには 2 つのサイバーセキュリティエンジニアリングとマネジメントがある。マネジメントを履修するために IT スキルは要求されない。既に働いていてマネジメントのスキルがあつてコンピュータスキルが無い人がいるためである。イギリスでは GCHQ20 というコースがある。このコースは 3 年間で、その中では教員になったり政府に勤めたりする。すでに社会に出て働き、大学に来た学生は全体の 85% から 90% である。

ACM のカリキュラム標準を参照しているカリキュラムはイギリスには多い。

全ての教員が他の大学から来ている。特にこのサイバーセキュリティセンターは業界で働いている場合がある。大学のランキングがとても高いため良い先生がたくさんいる。優秀な人が働きたくなるような大学であると言えることができる。事実、Cambridge 大学よりも教員の給料が高い。

学生の約半分は大学でテクニカルコンピューティングを勉強し、あとの半分の学生はサイエンスを勉強している。どちらも大体 50% 程度が留学生である。留学生には 1 年から 2 年の職業体験がある。この制度は珍しいだろうと思われる。教員との 1 対 1 の勉強もあるため大変ではあるが、Warwick 大学の卒業生は企業から見て魅力的な学生であり、多くの卒業生が大学教員よりも高いお給料をもらっている。大学教員となり教える方が社会に出て会社に勤めるより給料が安いのが問題である。

サイバーセキュリティセンターは 80 年代に設立され、93 年まで大学と専門学校の 2 つの組織があり 1993 年に合併した。800 人の教授が入っている。King's College London 大学とも状況は違う。Warwick 大学は A レベルのトップの成績をとらなくてはならない。施設が充実し、修士課程の学費は 13500 ポンドである（よりランクの低い大学の学費はおよそ 5000 ポンドである）。学士課程に関してもだいたい同じである。

GCHQ のア krediyation と連携している。その理由は、イギリスには何百のサイバーセキュリティのコースがあり、その中でイギリスの国が認定されたのが Warwick 大学であったからである。そのため、決まったコースを受けなければならない。

倫理学は既にサイバーセキュリティの一部になっている。またコンピュータサイエンスの一部でもある。責任を持った AI、説明ができる AI も存在するようになった。サイバーセキュリティの中身の一部は AI だが、まだ全部ではない。AI が他の目的で使われていると弱点になる懸念がある。例えば、普通の言葉がたくさん入っているものがスパムだと思つたメールにフィルタリングをしなくなったと同時に問題が起きる。道を渡ることと同じ

ように4歳くらいから学ばなければならない。8歳になるとサイバーセキュリティの要素は楽しい活動を通して勉強しなければならない。サイバーセキュリティチャレンジというのがある。コベントリーという地域はバーミンガムにも近く、イギリスの車のローバーの会社がある。ナショナルオートモービルイノベーションセンターは9000ポンドの資金を提供している。またグーグルなどとも共同で車のセキュリティの研究をしている。これから自動運転になった場合のハッキングなど日本の大手自動車企業からも話がきている。

3.4 英国 BCS による大学情報コース認定機関からみた情報教育

A) BCS の概要

2017年2月時点で、BCSは335の教育プログラムを認定している。これらの教育プログラムには、学部のみのも（基本的に3年制）と大学院教育を含むもの（4年制以上）が混在している。認定されたプログラムは情報分野の広い範囲に及んでおり、重視している専門分野は様々である。例えば、サイバーセキュリティ、ネットワークとデータベース、ゲームプログラミング、情報システム、ビッグデータ、IoT、Webシステム開発、ソフトウェア工学、HCI、AI、ロボティクスなどがある。教育プログラムによってはビジネス、工学、理学と連携した教育を行っているものもある。

情報分野は非常に広い範囲に及ぶため、専門分野を分類するために英国の Quality Assurance Agency (QAA) は Subject Benchmark Statement (SBS) を分野ごとに策定している。情報分野の SBS は以下で公開されている。SBS は、それぞれの分野において期待されるレベルを定義するためにも活用されている。情報分野の SBS を策定する際には ACM のカリキュラム標準も参照された。

- <http://www.qaa.ac.uk/en/Publications/Documents/SBS-Computing-16.pdf> (学部レベル)
- <http://www.qaa.ac.uk/en/Publications/Documents/SBS-Masters-degree-computing.pdf> (大学院レベル)

教育統計 (<https://www.hesa.ac.uk/data-and-analysis/students>) によると、英国内で情報分野の高等教育を受けている学生総数は101,145名（うち英国出身者81,215名、EU内8,315名、EU外11,610名）である。卒業生のうち70%程度は就職するが、20%程度が大学院に進学している。

BCSは教育認定審査の過程で Best Practice を見出した場合、それを提供している高等教育機関に依頼して紹介記事を書いて頂くことにしている。また、高等教育機関側から Best Practice を申請することもできる。それらの Best Practice は以下で公開されている。

<http://www.bcs.org/category/18053>

BCSによる教育認定は、Chartered Engineer や Chartered Scientist の資格とも連携している。

B) BCS メンバーへのインタビュー

Academic Accreditation Manager Education BCS, The Chartered Institute for IT の Maxine Leslie 氏にインタビューを行った。

BCS には色々なエリアがある。たとえばア krediteーション＝プロフェッショナルボディとして学校教育の小中高のコンピューティングのサポートをしている。CAS にメンバーとして 75,000 名が行っているが、BCS のア krediteーションを受けて、IT プロフェッショナルになってメンバーになる。BCS はメンバーシップの種類が様々で、内実は慈善団体であり、会費で運営されている。フェローや学生など色々な会員がいる。認定されてア krediteーションのメンバーになればステイタスになる。

企業での経験がなければチャータードの会員になることができない。チャータードの会員になると、会社から優遇される。これはステイタスである。

BCS と OCR はライバルである。専門教育では City and Guilds という資格がある。学校に関しては OCR や Pearson など色々やっているところがある。

Chartered Engineer を目指す学生は修士号を取得しなければならない。Cambridge 大学では学士課程が 3 年間、修士課程が 1 年間であるが、高校での成績に高いレベルを求めるため 3 年で学士号取得となる。高校での成績については、大学によって求めるレベルが異なるが、ラッセルグループに属する 24 の大学は高い成績を求めている。そのため、認定審査の際には、コースの入学条件をチェックし、レベルの低い学生を受け入れている場合には、入学後の支援に関する検証も行っている。

HESA (大学統計機関) により、IT を専門に勉強した者の、卒業半年後の就職率やお給料が高いと話題になっている。UNUSTATS <https://unistats.ac.uk/> という国営のサイトには、卒業半年後の給料が載っている。全国の大学の学生が卒業した半年後の給料が載っているので、学生の卒業後の状況が比較できる。

4. オーストラリア調査

本調査では主に ACS (Australian Computer Society) の教育認定を担うメンバーに対するインタビュー (電子メールベース) を通じてオーストラリアにおける情報教育の現状を調査した。ACS は教育認定の審査の他に認定基準の策定も担っている。そのため、オース

トラリアの大学における情報教育の現状について豊富な知見を保有している。

4.1 情報分野の教育認定（アクレディテーション）

オーストラリアにおいて情報分野の教育認定を担っているのは ACS である。米国における ABET と同様、ACS が教育認定におけるデファクト標準になっている。また、情報分野の教育認定における国際協定であるソウル協定の主要メンバーでもある。ACS の認定基準は以下で参照できる。

- <https://www.acs.org.au/cpd-education/acs-accreditation-program.html>

ACS は情報分野の教育認定の他に ACS Certified Professional / Technologist と名付けた資格制度を運営しており、IFIP IP3 (International Federation of Information Processing, International Professional Practice Partnership) を主導して情報分野における高度資格制度に関する国際的相互承認の枠組みを構築している。

米国における ACM や IEEE-CS とは異なり、ACS はカリキュラム標準を策定してはいない。しかし、以下で説明する CBOK を通じて、教育認定と資格制度の連携を図っている。

CBOK の知識体系

Essential Core ICT Knowledge	General ICT Knowledge
<ul style="list-style-type: none"> • ICT Professional Knowledge <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ethics ✓ Professional expectation ✓ Teamwork concepts and issues ✓ Interpersonal communication ✓ Societal issues, legal issues, privacy ✓ Understanding the ICT profession • ICT Problem Solving 	<ul style="list-style-type: none"> • Technology Resources <ul style="list-style-type: none"> ✓ Hardware and software fundamentals ✓ Data and information management ✓ Networking • Technology Building <ul style="list-style-type: none"> ✓ Human factors ✓ Programming ✓ Systems development ✓ Systems acquisition • ICT Management <ul style="list-style-type: none"> ✓ IT governance and organizational issues ✓ IT project management ✓ Service management ✓ Security management

ACS Core Body of Knowledge for ICT Professionals (CBOK, 知識体系の概要を以下に

示す)⁶は、大学における情報教育やITプロフェッショナルの育成・評価の際に参照する共通基盤として策定されている。そのため、ACSの教育認定においても重要な役割を担っている。さらに、Australian Qualification Framework (AQF)の他、Skill Framework for the Information Age (SFIA)やソウル協定等の国際的な枠組みでも参照されており、オーストラリアにおける情報教育やIT資格の国際整合性を確保する上でも活用されている。

ACSの教育認定においては、CBOKのEssential Core ICT Knowledgeについて、深い理解が要求されている。一方、General ICT Knowledgeについては、少なくとも概念的に理解することが求められている。認定審査を受ける際には、CBOKの領域毎にBloomのtaxonomyによる教育レベルを提示すること (Form 4: Mapping of Units to CBOK with Blooms Levels)と、プログラムの教育内容をCBOKの各領域と対応付ける (Form 5: CBOK Program Coverage) ことが求められている。

一方、ACSの認定基準では、演習や実験に関する定量的な要件が定められていない。IEA (International Engineering Alliance) が定めたGraduate Attributeはソウル協定においても参照されているが、その中でICTに関する実践が求められている。この要件を満たすための具体的な方法は各大学に委ねられている。

ACSの認定基準では、日本における卒業研究の代わりにCapstone Projectを義務付けている。この中では、学生のレポート、卒業論文、プロジェクトの評価等、様々な方法での評価を認めている。Capstone Projectに対しては、最低でも1学期の25%の負荷をかけることが求められている。

4.2 情報専門学科の概況

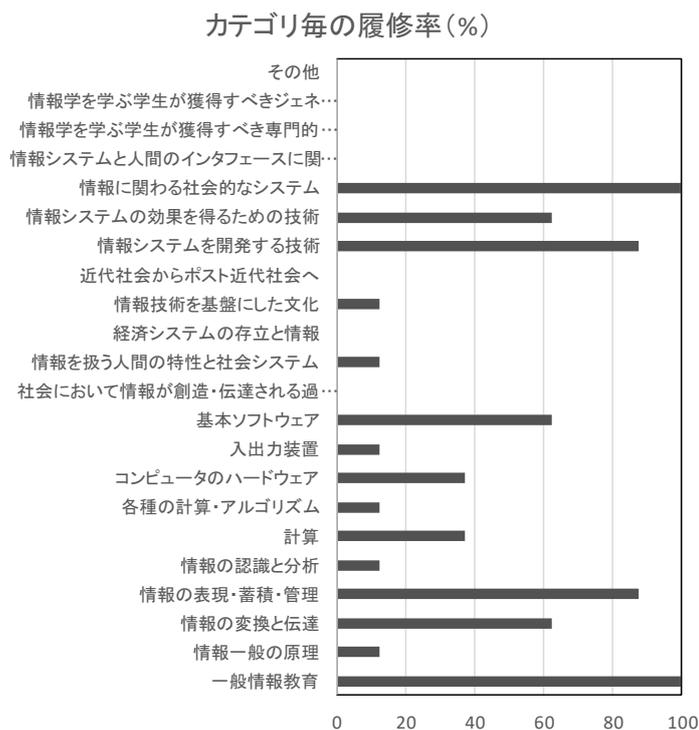
オーストラリアで情報専門教育を行っている学科に関する正式の調査は行われていないが、多くがACSによる認定を受けていると考えられる。ACSは情報分野で124学科(学部)、70専攻(大学院)を認定している。学部でのACS認定を受けている大学のうち58学科は情報分野のみを専門としている。一方、22学科はビジネス分野、14学科は工学分野、21学科は理学分野と連携した情報教育を行っている。情報専門教育を受けている学生数は、1学年当たり5万人程度と推定されている。一方、情報専門教育を担っている教員数は約1000名程度である。

オーストラリアの大学での情報教育はACMやIEEE-CSのカリキュラム標準とはあまり対応していない。各大学はこれらのカリキュラム標準を参照して教育課程を編成すること

⁶ <https://www.acs.org.au/content/dam/acs/acs-documents/The-ACS-Core-Body-of-Knowledge-for-ICT-Professionals-CBOK.pdf>

もあるが、ACS が策定した CBOK に基づいてカリキュラムを策定することが多い。

以下に情報学の参照基準のカテゴリ毎の学生の履修率を示す。米国の大学と比較すると履修率の高い項目が少ないが、参照基準における各カテゴリのカバー範囲が広く、かつ CBOK は必要とされる最低限の項目のみを定義していることから、CBOK では参照基準の一部しかカバーしていないケースが見られる点には注意が必要である。



オーストラリアの大学では 20～40 名程度の小規模クラスの教育は TA (Teaching Assistant) が担うことが多い。教員は 20%程度の小規模クラスおよび、より大規模なクラスを担当するのが一般的である。

基本的にすべての大学は教育用計算機システムを保有しており、Moodle や Blackboard 等の LMS (Learning Management System) を活用するのが一般的である。学生の PC 購入は大学側で義務付けることはせずに、学生の自主性に任せることが多い。教育用プログラミング言語としては Python (31%), Java (31%), C (17%) 等が多く使われている。

オーストラリアの大学は欧州と同様、3 年制を採用するケースが多い。例外として、Combined Degree を取得する場合、一方の学位の標準年限+1 年の教育が必要になる (例: IT/Business Degree は 4 年, Engineering/IT Degree は Engineering で 4 年間の教育が求められるため 5 年が標準である)。

2015 年に実施された調査によると、情報専門学科の卒業生のうち 12.1%は大学院に進学している。その他の卒業生は就職している。現時点では 2015 年の調査が最新のものである。

情報専門学科以外でも、ほとんどの工学系の学科では情報教育を行っている。また、ビジネス系の学科でも情報系のコースを提供していることが多い。しかし、それ以外の学科では情報系のコースを提供するケースは少ない。

大学教育ではないが、小中学校における情報教育は2017～2020年にかけてオーストラリアのすべての小中学校で導入されることになっている。小中学校における情報教育カリキュラム (Digital Technologies) は Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority (ACARA) という政府機関が策定している。その中では computational thinking, アルゴリズム, データに関する教育が行われることになっている。カリキュラムの詳細や各学年の生徒に期待される ICT 能力 (基礎から第 10 学年まで) は以下にて参照できる。なお、第 11 学年と第 12 学年の生徒に期待される ICT 能力は、まだ発表されていない。

- <https://www.australiancurriculum.edu.au/f-10-curriculum/technologies/digital-technologies/>
- <https://www.australiancurriculum.edu.au/f-10-curriculum/general-capabilities/information-and-communication-technology-ict-capability/>

5. ソフトウェア技術者の生産性および処遇に関する国際比較

効果的な情報教育を行うためには、情報教育を受けた学生が卒業後になることが期待されている IT 技術者の状況を踏まえる必要がある。その観点から、本節では IT 技術者の状況に関する国際比較を行う。本節の主要な内容は以下の報告書に基づくが、米国における IT 技術者の求人情報に関する調査を行って内容を補強した。

同志社大学, 2014 年度 ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業「日本のソフトウェア技術者の生産性及び処遇の向上効果研究: アジア, 欧米諸国との国際比較分析のフレームワークを用いて」に関する研究成果報告書 (独立行政法人 情報処理推進機構 委託事業), 2016 年 8 月。

表 1 には米国や欧州を含む世界 6 か国のソフトウェア産業に関するマクロ特性の比較を示す。同じソフトウェア産業であっても、国によって産業構造, 経営, 人材の各面で大きな違いがあることが分かる。

表 1 6 か国マクロ特性比較表

	産業構造	経営	人材
米国	世界的大企業から零細	革新的. リスクテイクの	多様で豊富. 労働市場の

	産業構造	経営	人材
	新興ベンチャー企業まで多様性に富む	度合いは高い	流動性も高い
中国	大企業から零細新興企業と多様性に富むが、中心は中小規模	ビジネス機会に対する高い反応力と高いリスクテイク性	極めて豊富だが、質のばらつきは大きい。労働市場の流動性は高い。
ドイツ	世界的企業も存在するが、組み込み系を中心に中小規模企業が中心	全般的に保守的で堅実。リスクテイクの程度は低い	毎年の新規参入は限定的ではあるが、質は全般に高い
フランス	大半は国内、ないしはEU内でのビジネスが中心の中小零細規模	リスクテイクの程度は高くなく、意思決定も速くない	技術と人材の質は高い。人材の流動性は高くない。
フィンランド	海外の大手企業の進出が活発。その結果、中小零細規模での起業率が高い	社会システム系で競争力が高い。経営は保守性と革新性の共存	労働力の新規供給力は低い。技術力と労働力の質は高い。労働力の流動性は低い。
インド	中小零細から世界的企業まで多様であるが、大半は中小零細規模	経営は、リスクテイクの程度も、市場機会に対する反応度もともに高い	毎年の新規労働力の参入量は大量。しかし、質においてはばらつきが大きい

日本国内および海外 6 か国において、時間当たり給与で見た労働条件について、個人要因（個人属性、教育、能力、能力認識、職務、およびキャリア・会社観）が年収に対してプラス効果を持つ。一方、購買力平価を用いて行った年収比較では、アメリカが最も高く、ドイツは、40 歳以下では、アメリカとほぼ同水準であるが、それ以上の年齢層では、アメリカよりは低い。日本の技術者年収購買力は、若干、中国、フランスを上回るものの、ほぼ同水準である。比較を時給で行った場合、日本の他国と比べた相対的な位置が、どの年齢層でも低下する。

日本の場合、法定労働時間である週 40 時間を超えない技術者の割合は、4.3%に留まる。一方、同じ比率はフランスでは 76%、ドイツでは 92%である。週当たり 10 時間以上の残業をするソフトウェア技術者の割合では、日本は 27%を超えるのに対し、中国 10.5%、アメリカ 7%、フランス 1.9%、そしてドイツで 0.4%である。日本のソフトウェア技術者

の長時間労働は突出している。

ソフトウェア生産性は、ソフトウェアプロダクトの生産を単位としてなら計測可能だが、技術者個人の単位では、客観的生産性の計測は行われていないし、可能とも考えられていない。技術者の単位で見たとき、心的な仕事の達成度評価や組織目標に対する貢献度、言い換えれば主観的な生産性指標（能力発揮、組織への貢献、および社会への貢献に関して、主成分分析を用いて回答を指標化）が、マネジメントにとっても、また技術者本人にとっても、客観的指標を代替する重要な指標とみなされている。

一方、ソフトウェア技術者の職務満足感は、以下に挙げる 6 つの設問に関して、主成分分析を用いて回答を指標化することで算出できる。

1. 仕事を一緒にする仲間に恵まれている
2. 今の仕事は面白い
3. 自分のペースで働くことができる
4. 自分の納得できる報酬や地位を得ている
5. 今の仕事は自分に合っている
6. 重要な仕事を任されている

心的生産性指標（主観的生産指標および職務満足感）による 5 ヶ国比較（中国、フランス、ドイツ、日本、米国）の結果も同様に明確である。日本の技術者は、ソフトウェア技術者もそれ以外の技術者も同様に、主観的な生産性指標で見ても、仕事満足のレベルで見ても、ともに比較 5 か国中、最も低い水準にある。一方、米国のソフトウェア技術者の両指標で見た生産性の高さは、他国を大きく凌駕する。両指標で見た日米間の生産性格差は極めて大きい。

このような背景から、以下の状況も観察されている。

- 専門能力および基礎的思考力に関する日本のソフトウェア技術者の自己評価は 5 か国中でも最低レベルにある。マネジメントからも、ソフトウェア技術者としての専門性より、他のメンバーと協調し、組織を管理できる人材が重んじられる。
- 週当たりの自己啓発時間を国際比較すると、日本の技術者は、週当たりの自己啓発時間が 0 時間の者の割合が 28%と 5 か国中最も高い。同時に、週当たり自己啓発時間が 10 時間を超えている者の割合は、1.7%と、ドイツとともに最も低い。
- 米国およびドイツでは外部労働市場が発達しており、労働市場により賃金相場がおおむね決定される。例えば、米国の場合、職務区分に基づき、労働市場の規制力を背景に成果主義的労働条件が決定されている。一方、ドイツでは、製品タイプ別に外部労働市場が発達し、市場賃金となっている。中国およびインドでは、能力主義的・業績

(チーム) 主義的な評価が行われている。これに対して、日本では職能と年功を中心とした労働条件になっており、成果物が見えにくいことへの配慮がない。

こうした背景から、米国におけるソフトウェア技術者は人気の職業であり、情報分野を専門とする大学や学部は学生の人気も高く、優秀な学生が集まる。一方、日本のソフトウェア産業の実態には改善すべき箇所が多くみられる。

さらに、米国におけるソフトウェア技術者の求人票をサンプル調査したところ、業務内容の説明や求められる能力が明確に定義されている事例が多く見られた。以下に民間企業と州政府の事例を示すが、業務内容の説明と併せて求められる能力を明確に定義することは、教育上の指標を与える上でも望ましい。

例 1 : 民間企業 (LinkedIn)

業務内容

- Design and execute user-facing features for the native LinkedIn native apps on one or more devices (iPhone/iPad) by leveraging mobile operating system frameworks for multi-threading, persisting data, and managing user experience and graphics across multiple screen sizes.
- Scale distributed applications, make architectural trade-offs applying synchronous and asynchronous design patterns, write code, and deliver with speediness and quality.
- Produce high quality software that is unit tested, code reviewed, and checked in regularly for continuous integration.
- Provide technical leadership, driving and performing best engineering practices to initiate, plan, and execute large-scale, cross functional, and company-wise critical programs.
- Identify, leverage, and successfully evangelize opportunities to improve engineering productivity.

求められる能力

Basic Qualifications

- B.S. Degree in Computer Science or related technical discipline, or 4+ years of equivalent practical experience.
- 1+ years of relevant work experience.
- Programming experience in Java, JavaScript, Objective-C, C++, C# or Swift.

Preferred Qualifications

- 2+ years of relevant work experience
- MS or PhD in Computer Science or related technical discipline
- Extensive programming experience in Java, Objective-C, Swift and/or C++.
- Expansive technical knowledge and experience with mobile application development (iOS, Windows, or other).

- Deep foundation in computer science with a strong understanding in data structures, and algorithms.
- Experience developing multi-tier scalable and user-centric reliable applications that operate 24x7.
- Knowledge of UI and animation frameworks, touch user interface, and MVP application design.
- Experience with relational databases (transactional and non-transactional), database architecture, and distributed transaction management.
- Experience building services for information delivery from server to mobile clients working with relevant tools (IDEs, ant, JUnit, etc.).
- Strong object-oriented skills including design, coding, and testing patterns.

例 2 : 州政府 (Virginia State Government)

業務内容

The Virginia State Bar, an administrative agency of the Supreme Court of Virginia, has an immediate opening for a Senior Software Engineer/Developer to technically lead the design, development and implementation of innovative software solutions for business processes; maintain and enhance custom in-house and COTS applications; and mentor teammates. As a member of a small cross-functional IT department, this position will have an opportunity to work on a range of projects that will directly contribute to our mission. We are looking for an individual who keeps current on technology trends, values learning, takes initiative, and enjoys accountability for meeting business requirements and deadlines in a collaborative work environment.

求められる能力

Minimum Qualifications:

Significant full software development life cycle experience with HTML5 and Microsoft stack including VB.NET, ASP.NET, MS SQL Server, and Team Foundation Server; working knowledge of FTP and Web APIs; MS Office Integration; excellent troubleshooting skills; and ability to effectively work as a team with end users, developers, consultants, and technical support staff. BA or BS degree with a major in Computer Science, Information Systems, or a related field. Exceptional verbal, written, and interpersonal skills. Selected candidate must pass criminal and credit background check.

Preferred Qualifications:

C# and iOS Objective C; database administration; EDI and document management. Experience implementing and monitoring cloud based applications is a plus.

B 部

情報学を専門とする学科対象の 教育カリキュラム標準の策定及び提言

この部は、つぎの 8 つの報告書からなる。それぞれの報告書は、その先頭に色紙を置いて区分してある。

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

CS

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

IS

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

CE

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

SE

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

IT

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

Cyber Security

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

Data Science

情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言

教育認定 (AC)

情報学を専門とする学科対象の
教育カリキュラム標準の策定及び提言

CS

情報学を専門とする学科対象の
教育カリキュラム標準の策定及び提言

CS

目次

1. CS 学教育の動向調査	1
2. カリキュラム標準 J17-CS (要約)	2
3. ACM/IEEE-CS への報告	39

WG 構成

角田博保 (主査)	
石畑清 (副主査)	明治大学
河村彰星	九州大学
児玉靖司	法政大学
齋藤孝道	明治大学
清水謙多郎	東京大学
鈴木貢	島根大学
中里秀則	早稲田大学
中谷多哉子	放送大学
三浦孝夫	法政大学
箕原辰夫	千葉商科大学
吉永努	電気通信大学

1. CS 学教育の動向調査

1.1. ACM/IEEE-CS の CS カリキュラム標準

ACM はコンピュータ科学の教育カリキュラムを 1968 年に公表し、その後、1978 年、1988 年、1991 年と改訂した。2001 年には ACM と IEEE Computer Society が協同でカリキュラムモデル CC2001[1]を制定した。CC2001 の中間改訂版 CS2008 を経て、2013 年に ACM と IEEE Computer Society はコンピュータ科学カリキュラム CS2013[2]を公表している。コンピュータ科学の教育カリキュラムとしては現時点での最新版である。

CS2013 は CC2001 に引続き、知識体系 (Body of Knowledge) を基にしたカリキュラム標準である。BOK はエリア、ユニット、トピックスの 3 階層構成であるが、CC2001 の 14 より増えて 18 の知識エリアからなっている。各ユニットは複数のトピックスと学習到達目標 (learning outcome) によって説明される。各トピックスは Core か Elective に分類され、Core も Tier1 (必修) と Tier2 (選択必修) に分類された。また、学習到達目標に学習レベル (Familiarity、Usage、Assessment) が設けられている。

CS2013 は、標準的な科目構成例などはつけず、実際の大学でのコース例を多数載せることで、参考としている。

情報専門学科カリキュラム J07-CS が CC2001 を大いに参考にしたことから、今回策定するカリキュラム標準 J17-CS は CS2013 を出発点とし、J07 および日本国内の情報専門学科の状況や専門技術の現状を踏まえて策定する。

1.2. 国内での CS 教育の現状

文科省委託事業「超スマート社会における情報教育の在り方に関する調査研究」平成 28 年度報告書によれば、日本の情報専門学科の総数は約 300、学士課程における 1 学年の平均学生総数は 2.8 万人程度と推計されている。アンケートに答えた 279 組織のうち、J07 で定めた 5 学科領域 (CS、CE、SE、IS、IT) に対応すると答えた組織が 164 (58.7%) であり、CS に対応すると回答した組織は 74 (26.5%) であった。5 学科領域における CS の占める割合は 45.1% と半数近くになる。

領域ごとのエフォート分布を見ると、情報学の参照基準における (イ) コンピュータで処理される情報の原理、(ウ) 情報を扱う機械および機構を設計し実現するための技術、によって定義される伝統的な教育内容が大きな比率を占めていることが分かった。これは J17 の方向性と大いに一致していると考えられる。

1.3. J07-CS の内容

J07-CS とそれ以前の J97(「大学の理工系学部情報系学科のためのコンピュータサイエンス教育カリキュラム J97」 [3]) との大きな変更点は、科目ではなく学問的な知識体系を与えたことである。これは米国カリキュラムモデル CC2001CS を参考にしたものであり、既存の情報学科を想定することに加えて、国際的な整合性、日本の科学技術を活かすこと、および最新技術への考慮であった。

J07-CS[4]の知識体系作成の基本方針としては、(a) J97 の後継としての、多くの理工系情報学科を想定してのカリキュラム標準、(b) 国際共通性、特に CC2001CS との整合性、(c) 日本の科学技術の特長と独自性を活かす、(d) 最新技術動向への考慮、があげられている。

J07-CS 知識体系 (CS-BOK-J 2007) は、15 の知識エリアからなり、各エリアはユニットからなり、ユニットの総数は 138 である。ユニットでは、その内容としてトピックスが列挙され、トピックスに対する学習成果がいくつか指定される。CC2001CS は 14 エリアであった。J07-CS ではマルチメディア表現というエリアが新設されている。

2. カリキュラム標準 J17-CS (要約)

J07 は数多くの大学でカリキュラム設計時に結構使われた。その後継の J17 としても、地に足がついたものを作る必要がある。そこで、J07 との継続性を考慮し、日本での現状に合うように適宜 CS2013 を変更した。また、CS2013 の BOK を翻訳する作業はせず、英文を使い、その代わりに、技術用語についての日英対照表をつけることとした。さらに、J07 でつけた科目例は含まず、CS2013 にある多量のコース例を参照することとした。

なお、カリキュラム標準そのものは本報告書には含めず CD/DVD メディアにて配布する。

2.1. 構成

J17-CS は 19 のエリアから構成される。CS2013 の 18 エリアに J07 で追加したマルチメディア表現エリアを、J17-CS ではメディア表現エリアとして加えた。

エリアごとの Tier1、Tier2 の時間を表 1 に示す。Tier1 が 166 時間、Tier2 が 142 時間である。Tier2 が 8 割達成されるとすると、全体でコア時間は 279.6 時間となる。これは J07 の 255 時間に比べると 1 割増しとなっているが、CS2013 とほぼ同じである。国際共通性、最新技術動向を考慮するとこの規模は妥当だと考える。

表 1. 各エリアのコア時間 (J17-CS と CS2013)

	知識エリア	J17-CS		CS2013	
		Tier1	Tier2	Tier1	Tier2
AL	Algorithms and Complexity	19	9	19	9
AR	Architecture and Organization	0	16	0	16
CN	Computational Science	1	0	1	0
DS	Discrete Structures	37	4	37	4
GV	Graphics and Visualization	2	1	2	1
HCI	Human-Computer Interaction	4	4	4	4
IAS	Information Assurance and Security	3	6	3	6
IM	Information Management	1	9	1	9
IS	Intelligent Systems	0	10	0	10
MR	Media Representation	1	1	0	0
NC	Networking and Communication	3	7	3	7
OS	Operating Systems	4	11	4	11
PBD	Platform-Based Development	0	0	0	0
PD	Parallel and Distributed Computing	5	10	5	10
PL	Programming Languages	8	20	8	20
SDF	Software Development Fundamentals	43	0	43	0
SE	Software Engineering	8	20	6	22
SF	Systems Fundamentals	18	9	18	9
SP	Social Issues and Professional Practice	9	5	11	5
	計	166	142	165	143

単位 時間

以下、各エリアのサマリーを載せる。

2.1.1. Algorithms and Complexity (AL) アルゴリズムと計算量

コンピュータを様々な問題の解決に役立てるには、目的に応じて効果的な計算法を適切に選択ないし設計する必要がある。この際には、アルゴリズム（算法）を作る考え方の枠組みやその効率、限界について、特定のプログラミング言語やハードウェアの細部によら

ない本質的な部分をよく理解することが大切である。このためアルゴリズムと計算量は、情報科学やソフトウェア工学において基盤的役割を果たす。

このエリアのコア時間は Tier1 が 19 時間、Tier2 が 9 時間であり、これに加えいくつかの高度な内容が選択ユニットとされている。

AL/Basic Analysis (Tier1 : 2 時間、Tier2 : 2 時間) 計算量の解析

計算量の解析に現れる概念や手法を扱うユニットである。トピックスには、最悪時評価と平均時評価、漸近解析の記法 (O 、 o 、 Ω 、 Θ)、計算量解析とその具体例、再帰的アルゴリズムの計算量解析、時間量と空間量などがある。

AL/Algorithmic Strategies (Tier1 : 5 時間、Tier2 : 1 時間) アルゴリズム設計の手法

アルゴリズムの設計によく使われる考え方や手法を扱うユニットである。トピックスには、貪欲法、動的計画法、分割統治法、再帰的探索、分枝限定法、発見的解法、問題の間の帰着関係などがある。

AL/Fundamental Data Structures and Algorithms (Tier1 : 9 時間、Tier2 : 3 時間) 基本データ構造とアルゴリズム

典型的で重要なアルゴリズムやデータ構造を、実装法、解析法、活用法を含めて具体的に扱うユニットである。トピックスには、数値の処理、整列法、ハッシュ表とその衝突解決、グラフのなぞり、二分探索木、ヒープ、グラフの最短路、全域木、文字列照合などがある。

AL/Basic Automata, Computability and Complexity (Tier1 : 3 時間、Tier2 : 3 時間) 形式言語、計算可能性、計算量の基礎

計算理論（形式言語理論、計算可能性理論、計算量理論）の最重要事項を概説するユニットである。トピックスには、有限状態機械、正規表現、文脈自由文法、計算可能性、計算不能問題、計算量、多項式時間、非決定計算、P と NP などがある。

AL/Advanced Computational Complexity (選択) 高度な計算量理論

計算量理論のうち、コアユニットに含まれない高度な内容を扱うユニットである。

AL/Advanced Automata Theory and Computability (選択) 高度な形式言語理論、計算可能性理論

形式言語理論、計算可能性理論のうち、コアユニットに含まれない高度な内容を扱うユニットである。

AL/Advanced Data Structures, Algorithms, and Analysis (選択) 高度なデータ構造やアルゴリズムとその解析

データ構造とアルゴリズムおよびその解析に関わる話題のうち、コアユニットにない高度なものを扱うユニットである。

2.1.2. Architecture and Organization (AR) アーキテクチャと構成

CS 領域の専門家にとっては、コンピュータはプログラムを実行する単なるブラックボックスではあってはならない。このエリアでは、Systems Fundamentals (SF) の知識を基盤として、より抽象度が高いハードウェアの構築や、高度なソフトウェアレイヤに対するインタフェースの知識を与える。

学生がこのエリアを修めると、コンピュータシステムの各構成要素の特性や周囲とのやりとりを理解し応用できるようになる。また並列性への視点を得ることで、コンピュータの性能を将来にわたり向上させる能力を身につける。そしてプログラマとして高性能を追及する際に念頭に置くべき並列性や遅延の概念を身につける。さらに利用するシステムを選択する際に、プロセッサのクロック性能や命令当たりのクロック数、メモリサイズ、平均メモリアクセスタイムなどの間の兼合いを理解できるようになる。

このエリアのコア時間は、Tier1 はなし、Tier2 は 16 時間で、3 つのユニットが選択となっている。

AR/Digital Logic and Digital Systems (Tier2 : 3 時間) デジタル回路とデジタルシステム

デジタル回路設計における基本的な知識に始まり、現代的な設計法に関する知識、コンピュータシミュレーションにおけるハードウェアの位置付け、物理的な制約の知識に関するユニットである。トピックスには、古典的な手法から FPGA (Field programmable gate array) の利用に至る組合せ回路と順序回路の構成法、アルゴリズム実現の階層におけるハードウェアの多様な位置付け、ハードウェアやアーキテクチャの表現を支援する CAD (コンピュータ支援設計) ツール、レジスタ転送言語とハードウェア記述言語 (Verilog/VHDL)、物理的な制約 (ゲート遅延、ファンイン、ファンアウト、エネルギー/電力) がある。

AR/Machine Level Representation of Data (Tier2 : 3 時間) 機械レベルでのデータの表

現

コンピュータ内部におけるデータ表現を扱うユニットである。トピックスには、ビット・バイト・ワード、数値データの表現と基数、固定小数点と浮動小数点、符号付き整数と2の補数表現、非数値データの表現（文字コード、画像データ）、レコードと配列の表現がある。

AR/Assembly Level Machine Organization (Tier2 : 6 時間) アセンブリ言語レベルでのコンピュータの構成

命令セットアーキテクチャという概念に始まり、メモリ領域のレイアウト、共有メモリ型マルチプロセッサ、フリンの分類に至るコンピュータハードウェア構成の概念を扱うユニットである。トピックスには、命令セットアーキテクチャの定義、プログラム格納方式（フォンノイマンマシン）の基本的な構成、プログラム格納方式のコンピュータの基本的な制御手順、命令セットとそのタイプの分類（データ操作、制御、入出力）、アセンブリ言語や機械語によるプログラミング、命令のフォーマットとアドレス指定モード、サブルーチンの呼出しと戻りの仕組み（PL/Language Translation and Execution に関連）、入出力と割込み、実行時システムのメモリレイアウト（ヒープ・静的データ領域・スタック・コード領域）、共有メモリ型のマルチプロセッサ／マルチコア、SIMD、MIMD の基本とフリンの分類がある。

AR/Memory System Organization and Architecture (Tier2 : 3 時間) メモリシステムの構成とアーキテクチャ

メモリシステムの基本的な構成技術とその展開を扱うユニットである。トピックスには、記憶装置とその技術、メモリ階層（時間的局所性と空間的局所性）、主記憶の構成と操作、遅延・サイクル時間・帯域・インタリーブ、キャッシュメモリ（アドレスマッピング・ブロックサイズ・入替えと書出しの戦略）、マルチプロセッサのキャッシュの一貫性／メモリシステムのコア間同期への利用／アトミックなメモリ操作、仮想記憶（ページテーブル・TLB）、障害対応と信頼性、誤り検出訂正符号、データ圧縮、データ正常性（SF/Reliability through Redundancy と相互参照）がある。

AR/Interfacing and Communication (Tier2 : 1 時間) インタフェースと通信

OS と相互参照になっており、入出力の処理や管理の視点から OS を議論する。デバイスへのインタフェースやプロセッサ間通信のハードウェアの仕組みを扱うユニットである。トピックスには、入出力の基本（ハンドシェイク・バッファリング・プログラム転送入出

力・割込み転送入出力)、割込みの構成 (ベクトル化割込み・優先順位付き割込み・割込み
アクリッジ)、外部記憶 (物理的構成・ドライバ)、バス (バスプロトコル・仲裁 (アビ
トレーション)・ダイレクトメモリアクセス (DMA))、ネットワークの基本、マルチメ
ディア支援、RAID の構成がある。

AR/Functional Organization (選択) 機能別のハードウェア構成

プロセッサのマイクロアーキテクチャを構成する要素に関するユニットである。トピッ
クスには、命令パイプラインやハザードの検出と解消を含む単純なデータパス、命令実行
の3つの段階を実現する制御ユニット、命令パイプラインと命令レベル並列性がある。

AR/Multiprocessing and Alternative Architectures (選択) マルチプロセッシングとその構成の選択肢

PD/Parallel Architecture との相互参照になっている。SIMD や MIMD のハードウェア
実装に関するユニットである。トピックスには、電力の法則、SIMD と MIMD の命令セ
ットや構成の例、相互結合ネットワーク、共有メモリマルチプロセッサシステムとメモリ
一貫性、マルチプロセッサのキャッシュ一貫性がある。

AR/Performance Enhancements (選択) 性能向上のための技術

コンピュータの性能を向上させる技術に関するユニットである。トピックスには、スー
パースカラ、分岐予測と投機的実行、アウトオブオーダー実行、先読み (プリフェッチ)、
ベクトルプロセッサと GPU、マルチスレッドのためのハードウェア支援、スケール性、
実行方式の別の選択肢 (VLIW/EPIC など)、特定用途向けプロセッサ (アクセラレータ
など) がある。

2.1.3. Computational Science (CN) 計算科学

Computational Science (CN) は、本来コンピュータが用いられた現実世界の数値的なモ
デリングとシミュレーションを中心に扱うエリアとなっている。モデリングとシミュレー
ションについて、その視覚化、計算処理方法、モデリングのためのデータ構築方法、およ
び数値解析と計算のためのアルゴリズムを扱うユニットから構成されている。

このエリアのコア時間は Tier1 が 1 時間であり、それ以外のユニットはすべて選択とな
っている。

CN/Introduction to Modeling and Simulation (Tier1 : 1 時間) モデリングとシミュレー

ションへの導入

現実世界の様々な解析が必要な事象をコンピュータでシミュレーションし、予測を行うために必要な、モデリング手法とシミュレーション技法への導入を与えるユニットになっている。

トピックスには、現実世界の対象を抽象化するためのモデリング、動的なモデリングとしてのシミュレーション、シミュレーション技法とツール、モデリングした結果の検証を行うための基本的な方法、モデル化されたシステムに対して関連付けられた結果の提示手法がある。

CN/Modeling and Simulation (選択) モデリングとシミュレーション

モデリングとシミュレーションのための具体的な手法・技法を扱うためのユニットである。トピックスには、最適化、意思決定の支援の方法、予測、安全性の考慮などの目的の説明とトレーニング、処理性能・正確性・有効性・複雑性におけるトレードオフ、モデリングの過程において、キーとなる特徴や振舞いの識別、仮定の簡単化、結果の正当性を扱うこと、モデルを作るにあたっての数式・グラフ・制約など使用方法と動的なシミュレーションにおいて時間差分の使用法を扱うこと、よく使われる形式的なモデルおよびモデル手法を扱うこと、モデルの評価および様々なコンテキストにおけるシミュレーションのアセスメント、モデルのシミュレーションの妥当性と検証を扱うこと、重要な応用分野について扱うこと、支援ソフトウェアやパッケージを紹介することが含まれる。

CN/Processing (選択) プロセッシング

モデリングとシミュレーションで決めた手法をどのように実装するかを扱うユニットである。トピックスには、アルゴリズムやそのプログラミングへの変換、ワークフローやソフトウェアのライフサイクル、よく知られたアルゴリズムの紹介を含む基本的なプログラミング手法を扱うこと、数値的にデータに合わせるようなアルゴリズムや、並列アーキテクチャを含む数値的な計算手法を実施するためのアーキテクチャの紹介を含む数値的処理手法を扱うこと、バンド幅・遅延・スケーラビリティ・粒度・並列アーキテクチャ・グリッド計算などを含む並列分散計算に対しての基本的な特性を紹介すること、計算のコストを扱うことが含まれる。

CN/Interactive Visualization (選択) 対話的な視覚化

モデリングとシミュレーションに関連して、その結果をいかに視覚化するかについて扱うユニットであり、GV や HCI、あるいは MR のエリアのユニットと深く関連している。

トピックスには、データの視覚化の原理、グラフ化、視覚化のアルゴリズム、画像処理技法、スケーラビリティを扱うことが含まれる

CN/Data, Information, and Knowledge (選択) データ、情報、知識

モデリングとシミュレーションに関連して、データ・情報・知識の表現をいかに行うべきかについて扱うユニットであり、IM や AL、SDF、あるいは MR のエリアのユニットと深く関連している。トピックスには、IM のユニットで扱うような情報の内容を管理するモデル・フレームワーク・システム・設計手法を扱うこと、テキストだけでなく MR のユニットで扱うような画像・音声・映像などの表現メディアを扱うこと、複雑・複合・集約オブジェクトや書誌レコードの機能要件を扱うこと、同じく MR のユニットで扱うようなコンテンツを作成する際のデジタル化における標本化・量子化・圧縮・変換・エミュレーション・ネットワークからのデータ抽出・メタデータ抽出を扱うこと、IM および MR のユニットで扱うような内容の情報データの構造化について扱うこと、パターン認識やメディアの処理について扱うこと、情報を利用する個人や社会について支援すること、および関連したソフトウェアやシステムを紹介することが含まれる。

CN/Numerical Analysis (選択) 数値解析

モデリングやシミュレーションの際の数値解析手法を扱うユニットである。トピックスには、丸めなども含んだ誤差、安定性、収束について扱うこと、テイラー展開、補間、補外および回帰なども含めた関数の近似を扱うこと、数値微分、数値積分を扱うこと、微分方程式の数値的解法を扱うことが含まれる。

2.1.4. Discrete Structures (DS) 離散構造

情報学全般の数理的な基礎をなす分野である。集合、関係、グラフ、場合の数、確率に関する基本的な用語や知識、また適切な論証を行う方法などが含まれる。アルゴリズムと計算量 (AL) などの理論分野において重要であるのはもちろんのこと、多くの応用分野においても、物事を的確に記述したり議論したりするために使われる基盤的知識である。

このエリアのコア時間は Tier1 が 37 時間、Tier2 が 4 時間であり、選択ユニットは設けられていない。

DS/Sets, Relations, and Functions (Tier1 : 4 時間) 集合、関係、関数

集合、関係、関数に関する基本的事項を扱うユニットである。

DS/Basic Logic (Tier1 : 9 時間) 論理の基礎

形式論理を適切に用いて主張を数学的に表現、処理するための、命題論理や述語論理の基礎事項（真理値割当て、論理演算、標準形、推論規則など）を扱うユニットである。特に知能システム分野の IS/Basic Knowledge Representation and Reasoning の直接の前提となる項目でもある。

DS/Proof Techniques (Tier1 : 10 時間、Tier2 : 1 時間) 論証の技法

前ユニットの論理の知識に基づいて、実際に数学的に正しい論証を行う手法を扱うユニットである。特に、命題の逆・裏・対偶、背理法、帰納法、再帰的定義などを理解し、必要に応じて適切に使いこなせるようにする。

DS/Basics of Counting (Tier1 : 5 時間) 場合の数と整数

場合の数と整数に関する基礎的内容を扱うユニットである。トピックスには、数え上げの手法、鳩の巣原理、順列と組合せ、数列と漸化式、合同式などがある。特にアルゴリズムと計算量エリアの AL/Basic Analysis の前提となる項目である。

DS/Graphs and Trees (Tier1 : 3 時間、Tier2 : 1 時間) グラフと木

多くの分野で要素どうしの関係を表すのに使われるグラフや木について基本的な用語や性質を扱うユニットである。特にアルゴリズムと計算量エリアの AL/Fundamental Data Structures and Algorithms の前提となる項目である。

DS/Discrete Probability (Tier1 : 6 時間、Tier2 : 2 時間) 確率

確率に関する基礎知識を、主に有限な確率空間に限って扱うユニットである。トピックスには、確率の公理、事象の独立性、条件つき確率、ベイズの定理、期待値、分散などがある。

2.1.5. Graphics and Visualization (GV) グラフィックスと視覚化

Graphics and Visualization (GV) は、コンピュータグラフィックスおよび視覚化について扱うエリアである。このエリアは、基礎概念・形状のモデリング・レンダリング・アニメーション・視覚化・計算幾何といった相互に関連する複数の分野から成り立っている。基本的な知識だけでなく、過去の技法をすぐに凌駕してしまう現在進行形の先端の技法についても扱う必要がある。このエリアは、基礎的な概念を扱うユニット、基礎および先端的なレンダリング手法を扱うユニット、幾何モデリングを扱うユニット、アニメーション

と視覚化をそれぞれ扱うユニットから構成される。

このエリアの最初のユニットだけコア時間があり、Tier1 が 2 時間、Tier2 が 1 時間になっている。それ以外の 5 つのユニットは選択になっている。

GV/Fundamental Concepts (Tier1 : 2 時間、Tier2 : 1 時間) 基礎概念

コンピュータ科学者やソフトウェア設計者にとって、人間がコンピュータとどのように対話していくのかについては、グラフィックスのコースだけでなく、コンピュータ科学やプログラミングを扱うコースにおいても紹介する必要がある。このユニットにおいては、グラフィックスについての基本的な紹介に留めているが、選択として後に置かれているユニットにおいては、さらに深く扱う必要がある。Tier1 のトピックスには、ユーザインタフェース、音声動画編集、ゲームエンジン、CAD、視覚化、仮想現実を含むメディア応用について扱うこと、HCI や MR のユニットと連動して、アナログ世界のデジタル化について、解像度や人間の知覚限界も含めて扱うこと、ユーザインタフェースを構築するのに標準的な API を用いることや標準的なメディア形式を表示できることが含まれる。Tier2 のトピックスには、減法混色や加法混色に基づく色の再現方法および再現における色域、および国際標準表色系を扱うこと、画像におけるベクタ表現・ラスタ表現について、データ格納や再計算におけるトレードオフを扱うこと、静止面の連なりとしてのアニメーションを扱うことが含まれる。

GV/Basic Rendering (選択) 基本的なレンダリング

基本的なグラフィックス技法と先端的なグラフィックス技法を理解するための基礎知識を扱うユニットになっており、MR のユニットで扱うのと同様に標本化やアンチ・エイリアシングが画像だけではなく、音声などの他のメディアにも同じように機能することを理解させる必要がある。トピックスには、発光や光の散乱とそれに関連した数値積分などのような自然の中のレンダリング、前進・後進レンダリングとそのアルゴリズム、ポリゴンによる表現、基本的な放射測定・類似三角形・投影モデル、座標体系とアフィン変換、レイトレーシング、デプスバッファ・ペインターのアルゴリズム・レイトレーシングのような技法の紹介を含む表示面と隠蔽面、単純三角形によるラスタ化、シェーダベースの API によるレンダリング、トリリニア MIP マッピングのような縮小化および拡大化を含むテクスチャマッピング、レンダリングのための空間データ構造用のアプリケーション、標本化とアンチ・エイリアシング、そしてシーングラフとグラフィック・パイプラインが含まれる。

GV/Geometric Modeling (選択) 幾何モデリング

幾何モデリングは、グラフィックスで使われる幾何表現を扱うためのユニットである。トピックスには、交差計算や近接テストのような基本的な幾何演算、立体体積・ボクセル・頂点ベースの立体表現、パラメトリック多項式曲線および曲面、曲線や曲面の陰関数表現、多項式・ベジエ・スプライン・非一様有理スプライン (NURBS) 曲線や曲面による近似技法、テッセレーション (面充填)・メッシュ表現・メッシュの滑面化を含む曲面表現技法、メッシュ生成技法、空間的副分割技法、フラクタルや生成モデルあるいは L-system のような手続きモデル技法、プログラミング言語と相互的に関連のあるグラフィカル、弾力性をもって変形可能なモデル、自由変形モデル、副分割曲面 (SDS)、多解像モデリング、再構成、構成的固体幾何 (CSG) 表現が含まれる。

GV/Advanced Rendering (選択) 先進的なレンダリング

Basic Rendering のユニットを受けて、先端的なレンダリング技法について扱うユニットである。トピックスには、分散レイトレーシングおよびパスレイトレーシング・フォトンマッピング・双方向パストレーシング・ラズレンダリング・メトロポリス光輸送モデルのようなレンダリング方程式の解決手法と近似、時間 (モーシオンブラー)・レンズの位置 (フォーカス)・連続周波数 (色の) とそれらがレンダリングに与える影響、シャドーマッピング、隠面消去、両方向散乱分布関数 (BSDF) の理論とマイクロファセット (微小切面)、表面下散乱、エリア光源、階層的なデプスバッファリング、非写実レンダリング、GPU アーキテクチャと GPU ベースのコンピュータシェーダ、光の受容・ノイズへの感受性・フリッカー融合を含む人間の視覚組織の紹介が含まれる。

GV/Computer Animation (選択) コンピュータ・アニメーション

アニメーションを生成するための技法を扱うユニットである。トピックスには、運動の前進的解法、インバース・キネマティックス (IK)、衝突感知と反応、ノイズや規則 (ボイズ・群衆) およびパーティクル・システムを使った手続き的アニメーション技法、肌表面生成アルゴリズム、剛体力学や物理粒子システムおよび衣服や肌や毛髪のための質点バネ・ネットワークを含む物理ベースでの動き、キーフレーム・アニメーション、スプライン、四元数のような回転のためのデータ構造、カメラ・アニメーション、モーシオン・キャプチャが含まれる。

GV/Visualization (選択) 視覚化

2次元および3次元での視覚化の技法について扱うユニットである。トピックスには、

カラー・マッピングやアイソ曲面のような 2 次元・3 次元のスカラー場における視覚化、光投影・輸送関数・断片化などの直接的な立体データへのレンダリング、ベクタ場や流れのデータ・時間変化データ・高次元のデータ（次元を減らす手法や並行軸を扱う手法を含む）・多乱数や木あるいはグラフ構造やテキストのような非空間データの視覚化、視覚的な抽象化を引き出す知覚および認知的基礎、視覚化デザイン、視覚化の評価、視覚化の応用が含まれる。

2.1.6. Human-Computer Interaction (HCI) ヒューマンコンピュータインタラクション

Human-computer interaction (HCI) は、人間の行動とそれを支援するコンピュータシステムとのインタラクション（相互作用）を設計すること、および、そのインタラクションを達成するインタフェースを構築することに関係するエリアである。このエリアのコア時間は Tier1 が 4 時間、Tier2 が 4 時間であり、多くの選択ユニットがある。

HCI/Foundations (Tier1 : 4 時間) 基礎

HCI の基礎に関するユニットである。トピックスには、HCI が使われるコンテキスト、ユーザ中心開発プロセス、様々な評価基準、ユーザビリティのヒューリスティックスやユーザビリティテストの原理、インタラクション設計を支える物理的能力・認知モデル・社会モデル、良い設計や良い設計者の原理、アクセシビリティ、年齢に応じたインタフェースがある。

HCI/Designing Interaction (Tier2 : 4 時間) インタラクションの設計

インタラクションの設計に関するユニットである。トピックスには、GUI、ビジュアル設計の要素、タスク分析、低忠実度のプロトタイプング、定量的評価の技法、ヘルプと文書化、人間やシステムのエラーの扱い、ユーザインタフェース標準がある。

HCI/Programming Interactive System (選択) 対話システムのプログラミング

ユーザエクスペリエンスを中心としたソフトウェア開発の視点から、それを実現するためのアプローチと技術をカバーしたユニットである。トピックスには、ソフトウェアアーキテクチャパターン、インタラクション設計パターン、イベント管理とユーザインタラクションなどがある。

HCI/User-Centered Design and Testing (選択) ユーザ中心設計とテスト

ユーザ中心の開発技法に関するユニットである。トピックスには、設計プロセスのアプリ

ローチと特性、機能要求とユーザビリティ要求、プロトタイピング技法とツール、各種評価法などがある。

HCI/New Interactive Technologies (選択) 新対話技術

新しい対話技術に関するユニットである。トピックスには、インタラクションスタイルと技術の選択法、マウスを使わないインタラクションの設計・実装・評価へのアプローチなどがある。

HCI/Collaboration and Communication (選択) 協同作業とコミュニケーション

協同作業とコミュニケーションに関するユニットである。トピックスには、非同期・同期グループコミュニケーション、社会ネットワーク分析、オンラインコミュニティなどがある。

HCI/Statistical Methods for HCI (選択) HCI のための統計的方法

HCI のための統計的方法に関するユニットである。トピックスには、t 検定、分散分析、実験的データ分析、統計的データの表現法、定性的結果と定量的結果の組合せなどがある。

HCI/Human Factors and Security (選択) 人間的要因とセキュリティ

人間的要因とセキュリティに関するユニットである。トピックスには、応用心理学とセキュリティポリシー、ユーザビリティ設計とセキュリティなどがある。

HCI/Design-Oriented HCI (選択) デザイン指向の HCI

デザイン指向の HCI に関するユニットである。トピックスには、技術に対する知的スタイルと視点およびそのインタフェース、設計規律としての HCI のとらえ方などがある。

HCI/Mixed, Augmented and Virtual Reality (選択) 複合現実、拡張現実、仮想現実

複合現実、拡張現実、仮想現実に関するユニットである。トピックスには、物理モデリングとレンダリング、システムアーキテクチャ、ネットワーキングなどがある。

2.1.7. Information Assurance and Security (IAS) 情報セキュリティ

CS2013 から、Information Assurance and Security (IAS) が知識体系に追加された。IAS は、機密性、完全性、可用性を確保し、認証と否認を提供することによって、情報システムと情報システムの保護と防御を目的とした技術とポリシーの両方のコントロールと

プロセスのセットである。

IAS 自体で Tier1 と Tier2 合わせて 9 時間のコア時間があり、他のエリアにも 63.5 時間の知識領域がある。IAS 独自のユニットとして、以下のものがある。

IAS/Foundational Concepts in Security (Tier1 : 1 時間) セキュリティの基礎概念

セキュリティの基本理念に関するユニットである。トピックスには、CIA (機密性、完全性、可用性)、リスク・脅威・脆弱性・攻撃ベクタの概念、認証と認可・アクセス制御、信頼 (トラスト) と信頼の概念、倫理 (責任ある開示) がある。

IAS/Principles of Secure Design (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 1 時間) 設計の原則

セキュリティの基本理念に関するユニットである。トピックスには、最小権限と分離、フェールセーフの原則、オープンな設計、エンドツーエンドセキュリティ、縦深防御、セキュリティバイデザイン、セキュリティと他の設計目標とのバランスがある。

IAS/Defensive Programming (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 1 時間、選択) 防御プログラミング

防御プログラミングに関するユニットである。トピックスには、入力検証とデータ・サニタイズ、プログラミング言語と型安全言語の選択、入力検証およびデータ・サニタイズ・エラーの例、競合条件、例外や予期しない動作の修正がある。

IAS/Threats and Attacks (Tier2 : 1 時間) 脅威と攻撃

脅威と攻撃に関するユニットである。トピックスには、攻撃者の目標・能力および動機、マルウェア、サービス拒否 (DoS) および DDoS、ソーシャルエンジニアリングがある。

IAS/Network Security (Tier2 : 2 時間) ネットワークセキュリティ

ネットワークセキュリティに関するユニットである。トピックスには、ネットワーク特有の脅威と攻撃タイプ、データセキュリティとネットワークセキュリティのための暗号技術の使用、セキュアなネットワークのアーキテクチャ、防御メカニズムと対策がある。

IAS/Cryptography (Tier2 : 1 時間) 暗号化

暗号に関するユニットである。トピックスには、さまざまな通信形態を包含する暗号技術に関する基本概念、暗号技術の種類とその暗号解析、デジタル署名などを含む PKI とその課題がある。

IAS/Web Security (選択) Web セキュリティ

Web セキュリティに関するユニットである。トピックスには、Web セキュリティモデル、セッション管理・認証、アプリケーションの脆弱性と防御、クライアント側のセキュリティ、サーバ側のセキュリティツールがある。

IAS/Platform Security (選択) プラットフォームセキュリティ

プラットフォームセキュリティに関するユニットである。トピックスには、コードの完全性とコード署名、セキュアブート・信頼の起点、Attestation、TPM とセキュアコプロセッサ、周辺機器のセキュリティ脅威、物理攻撃、医療機器・車などの組込み機器のセキュリティ、信頼できるパスがある。

IAS/Security Policy and Governance (選択) セキュリティポリシーとガバナンス

セキュリティポリシーやガバナンスに関するユニットである。トピックスには、プライバシーポリシー、推論制御/統計開示の制限、バックアップポリシー・パスワードの更新ポリシー、セキュリティ侵害開示ポリシー、データの収集と保存のポリシー、サプライチェーンポリシー、クラウドセキュリティのトレードオフがある。

IAS/Digital Forensics (選択) デジタルフォレンジック

デジタルフォレンジックスに関するユニットである。トピックスには、デジタルフォレンジックの基本原則と方法論、フォレンジックを考慮した設計システム、証拠のルール、証拠の検索と押収：法的要件と手続要件、デジタル証拠の方法と標準、データの保全に関する技術と標準、法的および報告上の問題、OS /ファイルシステムフォレンジック、アプリケーションフォレンジック、Web フォレンジック、ネットワークフォレンジック、モバイルデバイスフォレンジック、コンピュータ/ネットワーク/システム攻撃、攻撃の検出と調査、アンチフォレンジックがある。

IAS/Secure Software Engineering (選択) 安全なソフトウェア工学

ソフトウェアセキュリティに関するユニットである。トピックスには、ソフトウェア開発ライフサイクルへのセキュリティ構築、安全なデザインの原則とパターン、セキュアなソフトウェア仕様と要件、安全なソフトウェア開発プラクティス、セキュアなテスト、ソフトウェア品質保証とベンチマーク測定がある。

2.1.8. Information Management (IM) 情報管理

情報管理 (IM) は、本来、情報の捕捉、離散化、表現、組織化、変換、提示を行い、効果的に効率よくアクセスや変更を行うアルゴリズム、データモデル化と抽象化、物理格納記憶域技術を扱う。このエリアの扱うトピックスにより、概念的物理的なデータモデルを構築し、適合する手法や技術を決定し、望ましい設計を得るための実装が可能である。

このエリアは 12 ユニットからなり、コア時間は Tier1 が 1 時間、Tier2 が 9 時間であり、選択ユニットは 9 個ある。

IM/Information Management Concepts (Tier1: 1時間、Tier2: 2時間) 情報管理の概念

情報管理の概念に関するユニットである。Tier1 としてのトピックスには、情報システム、基本的な情報記憶検索、情報の表現と記述、情報の探索・関連付け・ブラウジング、巡航操作等があり、Tier2 には、情報管理応用、宣言型および案内型質問、分析と索引付け、情報管理の信頼性、拡張性、効率性、有効性などがある。

IM/Database Systems (Tier2: 3時間、選択) データベースシステム

データベースシステムの利用と構造に関するユニットである。Tier2 としてのトピックスには、データベースシステムの構造、基本機能、データ独立、宣言型質問言語などがある。

IM/Data Modeling (Tier2: 4時間) データモデル

さまざまなデータモデルに関するユニットである。Tier2 としてのトピックスには、概念モデル、関係モデル、オブジェクト指向モデル、半構造モデルなどがある。

IM/Indexing (選択) 索引付け

索引利用に関するユニットである。扱うトピックスには、物理構造に対する索引の効果、基本構成、特徴語の抽出と利用などがある。

IM/Relational Databases (選択) 関係データベース

関係データベースに関するユニットである。トピックスには、関係データベースに基づくスキーマ設計、関係代数・関係論理、正規形と従属性の関連、正規形への変換がもたらす性能上の影響が含まれる。

IM/Query Languages (選択) 質問言語

データ操作言語に関するユニットである。トピックスには、SQL (選択、射影、結合、集

約関数、グループ化) と入れ子質問、手続き型言語との関連付け、XPath等の言語やストアドプロシジャがある。

IM/Transaction Processing (選択) トランザクション処理

トランザクション処理に関するユニットである。トピックスには、トランザクション処理、障害回復、同時制御方式などがある。効率よいトランザクション処理の実現と孤立性の効果を示し、コミットおよび巻き戻し機能による同時制御規約を示す。

IM/Distributed Databases (選択) 分散データベース

分散データベースおよび並列データベースに関するユニットである。トピックスには、分散データベースに関しては、分散データ記憶、分散データベース質問、トランザクションの分散処理、同質解と異質解などがあり、並列データベースに関しては、共有メモリ・記憶域・無共有構造の対照、拡張性と高効率性、データ複写に関する割当てと断片化技術などがある。

IM/Physical Database Design (選択) 物理データベース設計

二次記憶域上のレコード、レコード形式、ファイルに関する技法を扱うユニットである。トピックスには、主索引、副次索引、クラスタ索引、ハッシュファイル・シグネチャファイル、B木がある。

IM/Data Mining (選択) データマイニング

データマイニングの利用とアルゴリズムに関するユニットである。トピックスには、同時関係や順序パターンの発見、関係データベースとの関連付け、クラスタリング、データクリーニング、例外値分析、可視化などがある。

IM/Information Storage and Retrieval (選択) 情報記憶と検索

情報記憶と検索の諸概念に関するユニットである。効率よい情報検索の諸問題を挙げ、応用分野に依存する探索戦略と設計技術を示す。トピックスには、マークアップ構造、トライ構造、逆索引構造、形態素解析、語幹抽出、語頻度・逆文書頻度、文書ベクトル空間モデル、シソーラス、オントロジ、文書分類などの多方面があり、ラッパやメディアータなどの奉仕による情報の相互運用性なども含む。

IM/Multimedia Systems (選択) マルチメディアシステム

マルチメディアシステムに関するユニットである。マルチメディア情報とそのシステムに用いられるメディアと装置を示し、内容に基づく情報分析と検索技術を示す。ここでは、オーディオ、ビデオ、画像、色彩等の概念を用いた情報の提示が重要であり、オーサリングシステムを用いた応用分野などのトピックスがある。

2.1.9. Intelligent Systems (IS) 知的システム

人工知能 (AI) は、従来の技術では扱い難いあるいは現実的でない問題のうち、日常生活で生じるものに解を与えようとする技術である。広範囲な知識表現、問題解決機構、機械学習を前提とする人工知能技術を前提とする。センシング技術 (音声認識、画像認識、自然言語処理)、問題解決技術 (探索とプランニング)、動作 (構成空間と環境マップ、ロボット工学)、支援方式 (エージェント技術) など、解法は個別の分野に大きく依存する。知的システム (IS) のエリアでは、どのような問題に人工知能が有用か、望ましい知識表現は何か、解探索の動作原理な何かなど、を説明する。さらに、システムの構築と評価の手法や技術を示す。

このエリアは 12 のユニットからなり、コア時間は Tier2 が 10 時間であり、選択ユニットは 8 個ある。

IS/Fundamental Issues (Tier2 : 1時間) 基本問題

人工知能問題の概要と応用に関するユニットである。知的な振舞い、合理的な振舞い、人間的な振舞いを対照し、解決すべき問題の特徴を示している。

IS/Basic Search Strategies (Tier2 : 4時間) 基礎的探索戦略

問題空間での解の探索とその完全性、最適性、効率との観点から評価方法を示すユニットである。トピックスには、深さ優先・幅優先など探索の方法や、貪欲法、A*法などの発見的な方法、後戻り法などの制約充足問題、評価方法がある。

IS/Basic Knowledge Representation and Reasoning (Tier2 : 3時間) 基礎的知識表現と推論

命題論理と述語論理に関するユニットである。トピックスには、推論の健全性・完全性、前向き・後ろ向き推論、ベイズ理論を用いた確率的推論がある。

IS/Basic Machine Learning (Tier2 : 2時間) 基礎的機械学習

機械学習の定義を例で示し、教師あり学習である分類操作を扱うユニットである。トピックスには、単純ベイズ分類や決定木、過学習問題がある。

IS/Advanced Search (選択) 応用探索

分枝限定法や動的計画法を例として、探索器とその発展、焼きなまし法や遺伝的アルゴリズムなどの確率過程的探索、ミニマックス法・ $\alpha\beta$ 法を扱うユニットである。これらを問題に適用し、比較対照する。

IS/Advanced Representation and Reasoning (選択) 応用表現と推論

情報の表現と様々な論理学に関するユニットである。また、エキスパートシステム、意味ネットワーク、プランニング技法など知識推論技術も扱う。トピックスには、記述論理とオントロジ工学、非単調論理、状況論理・イベント論理、時空間論理などがある。

IS/Reasoning Under Uncertainty (選択) 不確実推論

確率理論・確率分布を基礎として、確率的な知識表現を扱うユニットである。トピックスには、ベイジアンネット、ランダムサンプリング、マルコフモデル・隠れマルコフモデル、決定性理論などがある。

IS/Agents (選択) エージェント

エージェントおよび環境との協調を扱うユニットである。ここではエージェントを定義し、反射エージェント、階層エージェント、認知エージェントの構成の特徴を示し、決定論的エージェントとマルコフ決定プロセスとの関係を示す。エージェント理論により、協調エージェント、情報収集エージェント、擬人エージェントなどでの応用を示す。

IS/Natural Language Processing (選択) 自然言語処理

自然言語処理の理論と応用を扱うユニットである。トピックスには、決定性文法と確率文法、自然言語の構文解析、意味の表現、コーパスに基づくアプローチ、情報検索、自動翻訳、文書分類などがある。

IS/Advanced Machine Learning (選択) 応用機械学習

機械学習分野のうち、教師あり・教師なし学習、強化学習の諸原理を示し、このスタイルの違いの意味と効果を扱うユニットである。トピックスには、統計的学習とパラメタ推定、決定木・ニューラルネットワーク・サポートベクトルマシンなどの教師あり学習、ア

ンサンプル学習、信念ネットワーク、最近傍探索、期待値最大法 (EM) ・自己組織化マップ・クラスタリングなどの教師なし学習、半教師あり学習、次元の呪い問題、データマイニングへの適用などが含まれる。

IS/Robotics (選択) ロボット工学

ロボット工学の概念と問題に関するユニットである。トピックスには、ロボット制御の熟考制御方式・反射制御方式・ハイブリッド制御方式、構成空間と環境マップを用いたプランニング、不完全なセンサデータの特徴付けなどがある。

IS/Perception and Computer Vision (選択) 画像認識とコンピュータビジョン

コンピュータビジョン (イメージとオブジェクトの認識) の技術と応用に関するユニットである。ここではイメージの表現と処理、形状の表現と処理、動作解析を目的として、画像分割、閾値設定、エッジ・領域検出などによる 2 次元オブジェクトの認識などの手法を示す。さらに、オーディオスピーチ認識・一般的パターン認識アプローチを示し、分類手法や統計手法、特徴抽出のアプローチを示す。

2.1.10. Media Representation (MR) メディア表現

Media Representation (MR) のエリアは、これまで行われてきた様々なメディアを介した表現内容をコンピュータ上で実現する技術観点から捉え、情報としての表現原理と効果的な表現技術、およびそれを統合化し、配信する技術を探求するものである。そのために、メディア表現およびデジタル化におけるコンピュータ上での技術を深く理解する一方で、心理的および文化的な側面についても理解するためのユニットが配置されている。

このエリアのコア時間は、デジタル化のユニットにおいて、Tier1 で 1 時間、情報理論と標本化・量子化のユニットにおいて、Tier2 で 1 時間であり、その他のユニットは、選択になっている。

MR/Digital Representation of Information (Tier1: 1 時間) 情報のデジタル表現

情報のデジタル化およびデジタル表現において必要とされる基本的な概念、および代表的な手法についての紹介を行うためのユニットになっている。トピックスには、アナログ表現およびデジタル表現、デジタルデータ、雑音 (S/N) 比、意味内容の記号化と解釈、符号化と復号、情報量および情報量の単位、標本化・量子化・圧縮が含まれる。

MR/Character Codes (選択) 文字コード

文字コードについて技術的な側面から専門的に扱うユニットである。トピックスには、日本国内のコードおよび Unicode における文字の字形と符号化および文字コードを扱うこと、文字コードとフォントとの関連付けを扱うこと、および文字コードの国際規格である ISO の一連の文字コード規格と Unicode の技術的内容を扱うことが含まれる。

MR/Sampling, Quantization, and Compression (Tier2:1 時間) 標本化、量子化、圧縮

標本化、量子化、圧縮について十分な知識と技法を身につけるためのユニットである。トピックスには、シャノンの通信における情報理論、ナイキストの標本化定理を理解すること、画像・音声・映像の標本化と量子化を扱うこと、可逆圧縮と不可逆（劣化）圧縮について代表的な技術も含めて扱うこと、先端のメディア用のデータ圧縮技法（Codec）とそのアルゴリズムを紹介すること、標本化・量子化・圧縮を受けてデジタル化されたメディアについて人間の認識能力を考慮した品質の評価を扱うことが含まれる。

MR/Devices for Media Representation (選択) メディア表現のための機器

HCI のユニットとも重なるところがあるが、メディア表現のための機器やフォーマットについて扱うユニットになっている。トピックスには、入出力機器の紹介、容量計画と性能に関する問題を扱うこと、記録メディアと記録・編集・交換・配信用のフォーマットの紹介、メディア配信のためのサーバシステムを扱うこと、およびメディア開発をサポートするツールを紹介することが含まれる。

MR/Authoring Target Information (選択) 目的とする情報のオーサリング

IM および HCI のユニットとも重なるが、特にメディア表現において、ターゲットとする情報の提示方法を論理的な側面および修飾的な側面の両方について扱うためのユニットになっている。トピックスには、情報の提示方法について扱うこと、情報の論理構造を扱うこと、ユーザの情報閲覧のモデル化、文字について表音文字と表意文字を区別し、その両方を扱うこと、自然言語の文字表記と字形も含む表記方法の揺れを扱うこと、表現されたメディアに対しての検索手法を扱うこと、提示方法に対応したメディアの加工と品質について扱うこと、心理や知覚、理解度、あるいは文化背景を考慮したメディアの提示方法について扱うこと、リアルタイム制御の情報提示の場合も含む多様なメディアの選択と統合化について扱うことが含まれる。

2.1.11. Networking and Communication (NC) ネットワークと通信

ネットワークと通信を扱うエリアである。

このエリアのコア時間はTier1が3時間、Tier2が7時間である。

NC/Introduction (Tier1 : 1.5 時間) 導入

ネットワークの基本的な概念に関するユニットである。トピックスには、インターネットの構成、回線交換とパケット交換、ネットワークを構成する機器、プロトコル階層の概念、各プロトコル階層の役割がある。

NC/Networked Applications (Tier1 : 1.5 時間) ネットワークアプリケーション

アプリケーション層に関するユニットである。トピックスには、命名方法とアドレスの付け方 (DNS、IP アドレス、URI など)、分散アプリケーション (クライアントサーバ、ピア・ツー・ピア、クラウドなど)、HTTP、TCP/UDP による多重化、ソケット API がある。

NC/Reliable Data Delivery (Tier2 : 2 時間) 信頼性のあるデータ配信

データ配信の信頼性に関するユニットである。トピックスには、エラー制御 (再送、タイマ設定)、フロー制御 (受領確認、スライディングウィンドウ)、パフォーマンス (パイプライニング)、TCP がある。

NC/Routing and Forwarding (Tier2 : 1.5 時間) 経路制御と転送

経路制御とパケット転送に関するユニットである。トピックスには、ルーティング (経路制御) とフォワーディング (パケット転送) の違い、静的な経路決定、インターネットプロトコル (IP)、スケーラビリティ (階層的なアドレス方式) がある。

NC/Local Area Networks (Tier2 : 1.5 時間) ローカルエリアネットワーク

LAN に関するユニットである。トピックスには、多元接続の問題、多元接続で一般に利用される手法 (指数バックオフ、時分割多重など)、ローカルエリアネットワーク (Local Area Networks: LAN)、Ethernet、スイッチがある。

NC/Resource Allocation and QoS (Tier2 : 1 時間) リソース割当てと通信品質

リソース割当てと通信品質に関するユニットである。トピックスには、固定割当て (時分割多重、周波数多重、波長多重) と動的割当て、通信品質 (QoS)、端末での通信品質制御とネットワークによる通信品質制御、公平性、通信品質制御の原理 (輻輳ウィンドウ、能動的キュー管理、スケジューリング、シェーピング)、Content Distribution Networks (CDN) がある。

NC/Mobility (Tier2 : 1 時間) モビリティ管理

端末の移動管理に関するユニットである。トピックスには、携帯電話網の原理、モバイル IP、端末の移動支援の仕組み（ホームエージェント）がある。

2.1.12. Operating Systems (OS) オペレーティングシステム

オペレーティングシステム (OS) は、ハードウェアの抽象化を定義し、コンピュータ利用者間の資源の共有を管理する。このエリアのトピックスでは、OS のネットワークに対するインタフェース、カーネルモードとユーザモードの違いの理解、OS の設計と実装に対する主要なアプローチの開発という観点から、OS の最も基本的な知識について説明する。

このエリアのコア時間は Tier1 が 4 時間、Tier2 が 11 時間であり、6 個の選択ユニットがある。

OS/Overview of Operating Systems (Tier1 : 2 時間) オペレーティングシステムの概要

OS の概要に関するユニットである。トピックスには、OS の役割と目的、代表的な OS の機能、クライアントサーバモデルおよび携帯端末を支援する機構、設計上の問題（効率性、頑強性、柔軟性、可搬性、セキュリティ、互換性）、OS に対してセキュリティ、ネットワーク、マルチメディア、ウィンドウシステムが与える影響がある。

OS/Operating System Principles (Tier1 : 2 時間) オペレーティングシステムの原理

OS の基本原理に関するユニットである。OS の構成法、利用インタフェース、ハードウェアとの関係、プログラムの実行管理などが含まれる。トピックスには、OS の構成法（モノリシック、階層型、モジュール化、マイクロカーネルモデル）、抽象化（プロセス、資源など）、アプリケーションプログラミングインタフェース (API) の概念、GUI と OS、ハードウェア/ソフトウェア技術および応用ニーズの進化、デバイスの構成、割込みの方式と実現、ユーザ/カーネルモードの概念と保護、プログラムのリンクとローディングがある。

OS/Concurrency (Tier2 : 4 時間) 並行性

OS が実現する並行性に関するユニットである。プロセスの機構、同期・通信、デッドロックなどが含まれる。トピックスには、プロセスの状態と状態遷移、プロセスの構造（実行可能リスト、プロセス制御ブロックなど）、ディスパッチとコンテキスト切替え、プロセスとスレッド、割込みの役割、OS における同期の必要性、同期基本命令の実現（ロック、セマフォ、条件変数、モニタあるいはこれに類する構造）、プロセス間通信における共有メ

メモリ、メッセージ受渡し、ライブ障害の可能性とデッドロック（要因、条件、防止）、マルチプロセッサの問題がある。

OS/Scheduling and Dispatch (Tier2: 2 時間) スケジューリングとディスパッチ

スケジューリング方針に関するユニットである。トピックスには、横取りのあるスケジューリングと横取りのないスケジューリング、スケジューラとスケジューリング方針、デッドラインとリアルタイム問題がある。

OS/Memory Management (Tier2: 3 時間) メモリ管理

OS のメモリ管理の機構と方針に関するユニットである。トピックスには、物理メモリとメモリ管理ハードウェアの復習、ページングと仮想記憶、ページング方針、ワーキングセットとスラッシング、キャッシングがある。

OS/Security and Protection (Tier2: 2 時間) セキュリティと保護

OS に関連したセキュリティと保護に関するユニットである。トピックスには、システムセキュリティの概要、方針と機構の分離、セキュリティ方式および装置、保護、アクセス制御、認証、バックアップ、セキュア OS がある。

OS/Virtual Machines (選択) 仮想マシン

コンピュータの仮想化についてまとめたユニットである。トピックスには、仮想化のタイプ（ハードウェア/ソフトウェア、OS、サーバ、サービス、ネットワークなど）、ハイパーバイザ、ポータブル仮想化（エミュレーションと隔離の対比）、仮想化のコストがある。

OS/I/O Management (選択) 入出力管理

デバイスおよびデバイスに対する入出力の管理に関するユニットである。トピックスには、シリアルデバイスとパラレルデバイスの特性、デバイスの差異の抽象化、バッファリング方式、直接メモリアクセス、障害からの回復、ネットワーク入出力管理がある。

OS/File Systems (選択) ファイルシステム

ファイルおよびファイルシステムに関するユニットである。トピックスには、ファイル（データ、メタデータ、操作、編成、バッファリング、逐次アクセス、非逐次アクセス）、ディレクトリの内容と構造、ファイルシステム（区画化、マウント・アンマウント、仮想ファイルシステム）、標準的な実現技術（ファイル索引、割当て法、空き領域管理など）、

メモリマップトファイル、専用ファイルシステム、名前付け、探索、バックアップ、ジャーナルおよびログ構造ファイルシステムがある。

OS/Real Time and Embedded Systems (選択) リアルタイムおよび組込みシステム

リアルタイムおよび組込みシステムの OS 技術に関するユニットである。トピックスには、プロセスおよびタスクのスケジューリング、リアルタイム環境におけるメモリ・ディスク管理、障害とリスクと回復、リアルタイムシステムに特化した対応がある。

OS/Fault Tolerance (選択) 耐故障性

耐故障性の基本概念、実現手法などに関するユニットである。トピックスには、基本概念 (高信頼性および高可用性システム)、空間的および時間的な冗長性、耐故障性を実現する手法、耐故障性を実現する検出、回復、再起動の OS 機構の実例、およびこれらの技法の OS 自身のサービスへの適用がある。

OS/System Performance Evaluation (選択) システムの性能評価

システムの性能評価についてまとめたユニットである。トピックスには、システム性能評価の必要性、評価の対象、システム性能に関わる方針 (たとえば、キャッシング、ページング、スケジューリング、メモリ管理、セキュリティなど)、評価モデル (決定的、解析的、シミュレーション、実装特化)、評価データの収集方法 (プロファイル、トレース機構) がある。

2.1.13. Platform-Based Development (PBD) プラットフォームに依存した開発

具体的なプラットフォーム上にプログラムを作成するために必要な開発制約や技術を扱うエリアで、他のソフトウェア関連知識エリアの基礎知識を活用する。たとえば、プラットフォーム固有の制約を守りながら API を使って開発を行う。特に、Software Development Fundamentals (SDF) が、関連の深いエリアである。

このエリアに Tier1、Tier2 のコア時間はなく、すべてが選択となっている。

PBD/Introduction (選択) 導入

プラットフォームに依存した開発を行うために必要な知識を与えるユニットである。特に伝統的なソフトウェア開発との差異を強調している。トピックスには、プラットフォームの概観 (たとえば、Web、Mobile、ゲーム、産業向け)、プラットフォーム固有の API を用いたプログラミング、プラットフォーム言語の概観 (たとえば Swift、HTML5)、プラッ

プラットフォームの制約のもとで行うプログラミングがある。

PBD/Web Platforms (選択) Web プラットフォーム

これ以降の四つのユニットは、それぞれ特定の種類のプラットフォームにおけるソフトウェア開発に関するものである。このユニットのトピックスには、Web プログラミング (たとえば、HTML5、JavaScript、PHP、CSS)、Web プラットフォームの制約、Software as a Service、Web 標準がある。

PBD/Mobile Platforms (選択) モバイルプラットフォーム

このユニットのトピックスには、Mobile プログラミング言語、Mobile や無線通信への挑戦、Location-aware プログラミング、性能と電力のトレードオフ、Mobile プラットフォーム制約、新技術がある。

PBD/Industrial Platforms (選択) 工業プラットフォーム

このユニットの知識は、IS/Robotics に関係する。トピックスには、様々な産業向けプラットフォーム (たとえば、数学、ロボット、産業系制御)、ロボットのためのソフトウェアとアーキテクチャ、ドメイン固有の言語、産業系プラットフォームの制約がある。

PBD/Game Platforms (選択) ゲームプラットフォーム

トピックスには、様々なゲームプラットフォーム (たとえば、XBox、Nintendo、PlayStation)、ゲームプラットフォーム言語 (たとえば、C++、C#、Java、Lua、Python)、ゲーム開発環境 (たとえば、Unity、Unreal、CryENGINE)、ゲームプラットフォーム制約がある。

2.1.14. Parallel and Distributed Computing (PD) 並列分散処理

近年、マルチコアプロセッサやデータセンタ技術など、並列分散処理技術の進展が著しい。この状況を受けて、並列分散処理に関するエリアを新設し、学部カリキュラムのコア時間を Tier1 に 5 時間、Tier2 に 10 時間設けた。並列分散処理では、複数のプロセッサ上で同時に計算が実行される。並列分散処理エリアの内容は、並行性、並列実行、メモリ操作の一貫性、通信遅延など他の多くのエリアのシステム基礎概念の理解の上に形成される。実際の速度向上は、並列アルゴリズム、問題分割戦略、システムアーキテクチャ、詳細な実装、性能解析、チューニング等の理解を必要とする。分散処理では、セキュリティや耐故障性に焦点を当てる。

PD/Parallelism Fundamentals (Tier1 : 2 時間) 並列性の基礎

並列処理の基本概念に親しみ、この基本概念を通じてより複雑な並列処理に関わる事項を探求する準備をするためのユニットである。なお、並列処理概念についてはSFでも学ぶ。したがって、SF/Computational Paradigms、SF/Parallelismと関連する。トピックスには、複数同時計算、並列性の目的と並行性、並列性・通信・協調、逐次プログラミングにはないプログラミングエラーがある。

PD/Parallel Decomposition (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 3 時間) 並列処理への分割

並列処理プログラムの作成に必要なタスク分割やデータ並列性に関するユニットである。SF/Parallelismと関連する。トピックスには、通信および協調・同期、独立性と分割、並列処理への分割に関する基礎知識、タスク分割、データ並列処理の分割、アクタと呼び出されるプロセスがある。

PD/Communication and Coordination (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 3 時間、選択) 通信と協調

並列処理で必要な通信と協調に関するユニットである。実装に関して OS/Concurrencyと関連する。トピックスには、コア時間として共有メモリ、データ競合のないプログラムを保証する言語機能、メッセージ交換、排他制御されたアトミック処理がある。また選択として、同期、条件付きの待ち合わせ処理がある。

PD/Parallel Algorithms, Analysis, and Programming (Tier2 : 3時間、選択) 並列アルゴリズム、解析とプログラミング

並列アルゴリズム、解析、プログラミングに関するユニットである。トピックスには、コア時間としてクリティカルパス、アムダールの法則 (SF/Evaluationに 関連)、速度向上とスケーラビリティ、並列アルゴリズムがある。また選択として、並列グラフアルゴリズム (AL/Algorithmic Strategiesの分割統治法と 関連)、並列行列計算、生産者-消費者モデルとパイプラインアルゴリズム、スケーラブルでない並列アルゴリズムがある。

PD/Parallel Architecture (Tier1 : 1時間、Tier2 : 1時間、選択) 並列アーキテクチャ

応用面から見た並列コンピュータアーキテクチャに関するユニットである。AR/Assembly Level Machine Organization, AR/Multiprocessing and Alternative Architecture と関連するが、ARの内容はハードウェア面に限られる。トピックスには、コア時間としてマルチコアプロセッサ、共有メモリと分散メモリ、シンメトリックマルチプ

ロセッシング (SMP) 、SIMD、ベクトル処理がある。選択としては、GPU、フリンによる並列処理の分類、命令レベル並列処理、並列アーキテクチャのメモリ技術、ネットワークトポロジーがある。

PD/Parallel Performance (選択) 並列性能

並列処理性能に関するユニットである。トピックスには、負荷分散、性能測定、スケジューリングと競合 (OS/Scheduling and Dispatchと関連) 、通信オーバーヘッドの評価、データ管理 (SF/Proximityに関連) 、電力消費と管理がある。

PD/Distributed Systems (選択) 分散システム

分散システムに関するユニットである。トピックスには、故障 (OS/Fault Toleranceに関連) 、分散処理メッセージ交換、分散システム設計のトレードオフ、分散処理サービス設計、分散処理アルゴリズムがある。

PD/Cloud Computing (選択) クラウドコンピューティング

クラウドコンピューティングに関するユニットである。トピックスには、インターネット規模の計算 (PD/Parallel Algorithms, Analysis, and Programmingに関連) 、クラウドサービス、仮想化 (SF/Virtualization and Isolation, およびOS/Virtual Machinesに関連) 、クラウドによるデータ保存がある。

PD/Formal Models and Semantics (選択) 形式モデルと意味論

並列処理に関する形式検証モデルについてのユニットである。トピックスには、プロセスとメッセージ交換の形式モデル、並列計算の形式モデル、計算依存性の形式モデル、共有メモリ貫性のモデルとプログラミング言語仕様の関係、アルゴリズムの正しさ、ノンブロッキング性の保証や公平性を含むアルゴリズムモデル、データ競合しないことなどの妥当性検証技術がある。

2.1.15. Programming Languages (PL) プログラミング言語

プログラミング言語に関するエリアである。プログラミング入門などとは切り離して、言語そのものを題材としている。複数のパラダイムを取り上げていて、特にオブジェクト指向言語と関数型言語に重きを置いた構成になっている。

プログラミング言語は、概念の記述、アルゴリズムの定式化、解の考察などをプログラマが正確に行うための道具である。ソフトウェア開発者は、言語ごとに異なるプログラミ

ングモデルと、それらの背景にある設計方針を理解しなければならない。プログラミング言語を効果的に使用し、かつその限界を知るには、言語処理系、プログラムの静的解析、メモリ管理などの実行時環境についても知る必要がある。

コア時間は、Tier1 が 8 時間、Tier2 が 20 時間になっている。

PL/Object-Oriented Programming (Tier1 : 4 時間、Tier2 : 6 時間) オブジェクト指向プログラミング

オブジェクト指向言語とその用法に関するユニットである。Tier1 のトピックスには、オブジェクト指向設計、クラス、サブクラス、動的ディスパッチがある。Tier2 のトピックスには、サブタイプ、情報隠蔽のための機能、コレクションクラスがある。

PL/Functional Programming (Tier1 : 3 時間、Tier2 : 4 時間) 関数型プログラミング

関数型言語とその用法に関するユニットである。Tier1 のトピックスには、副作用のないプログラム、構造を持つデータの扱い方、関数を他のデータと同様に扱う方法がある。Tier2 のトピックスには、関数閉包、map や reduce/fold などの高階関数がある。

PL/Event-Driven and Reactive Programming (Tier2 : 2 時間) イベント駆動プログラミングとリアクティブプログラミング

外部からの信号に反応するイベント駆動型のプログラムに関するユニットである。Tier2 のトピックスには、イベントとイベントハンドラ、典型的な使用法、プログラムの構成、外部イベントとプログラムが生成するイベント、MVC の分離がある。

PL/Basic Type Systems (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 4 時間) 型システムの基本

データの型のうちの基本的なものに関するユニットである。Tier1 のトピックスには、値の集合と操作の集合によって定まる型、型と変数その他の結合、型安全性と型エラー、静的な型の目標と限界がある。Tier2 のトピックスには、汎用型、静的な型と動的な型の比較がある。

PL/Program Representation (Tier2 : 1 時間) プログラムの表現

言語処理系の中でのプログラムの表現法に関するユニットである。Tier2 のトピックスには、プログラムを処理する各種プログラム（コンパイラなど）、抽象構文木、プログラムを表現するデータ構造がある。

PL/Language Translation and Execution (Tier2 : 3 時間) 言語翻訳と実行

言語処理系の処理の概要に関するユニットである。Tier2 のトピックスには、インタプリタとコンパイラ、言語処理系内部のフェーズ、データや関数の実行時表現、メモリの実行時レイアウト、メモリ管理がある。

PL/Syntax Analysis (選択) 構文解析

構文解析に関するユニットである。トピックスには、正規表現による字句解析、各種構文解析法、仕様からの字句解析または構文解析プログラムの自動生成がある。

PL/Compiler Semantic Analysis (選択) コンパイラの意味解析

意味解析に関するユニットである。トピックスには、抽象構文木、有効範囲と結合の解析、型検査、属性文法などの宣言的仕様がある。

PL/Code Generation (選択) コード生成

コード生成に関するユニットである。トピックスには、手続き呼出し、分割コンパイル、命令選択、レジスタ割当て、覗き穴最適化がある。

PL/Runtime Systems (選択) 実行時システム

実行時システムに関するユニットである。トピックスには、動的なメモリ管理、just-in-time コンパイル、仮想マシンの共通機能がある。

PL/Static Analysis (選択) 静的解析

プログラムの静的解析に関するユニットである。トピックスには、フローグラフ、静的解析の非決定性、フロー解析、モデルチェック、最適化や検証との関係がある。

PL/Advanced Programming Constructs (選択) 高度な言語機能

高度な言語機能に関するユニットである。トピックスには、遅延評価、例外処理、継続、多重継承、メタプログラミング、モジュールシステム、文字列処理、動的評価 (eval)、不変条件の検査がある。

PL/Concurrency and Parallelism (選択) 並行処理と並列処理

並行処理と並列処理に関するユニットである。トピックスには、共有変数、アクタモデル、データ並列性に対する言語支援、メッセージ交換がある。

PL/Type Systems (選択) 型システム

型システムに関するユニットである。トピックスには、複合的なデータを表現する型、型検査、型の安全性、型推論、静的オーバーロードがある。

PL/Formal Semantics (選択) 形式意味論

形式意味論に関するユニットである。トピックスには、構文と意味、ラムダ計算、意味論各種（操作的、表示的、公理的）、帰納法による証明、形式的定義と証明、システムモデリングがある。

PL/Language Pragmatics (選択) 言語設計の実際

実際に言語を設計する際に現れるさまざまな概念に関するユニットである。トピックスには、直交性などの言語設計の基本方針、評価順序（優先順位、結合性）、遅延評価、制御構造の定義、外部呼出しとシステムライブラリがある。

PL/Logic Programming (選択) 論理型プログラミング

論理型言語に関するユニットである。トピックスには、データ構造とアルゴリズムの節による記述法、ユニフィケーション、バックトラックと探索、カットがある。

2.1.16. Software Development Fundamentals (SDF) ソフトウェア開発基礎

ソフトウェア開発に必要な基本概念と技術を扱うエリアで、他のソフトウェア関連知識エリアの基礎を提供している。その主なものは、Programming Languages (PL)、Algorithms and Complexity (AL)、そして、Software Engineering (SE) である。ソフトウェア開発プロセス全体に焦点をあて、コンピュータ科学プログラムの初年度で習得すべき概念とスキルを示している。アルゴリズムの設計と簡単な解析、プログラミングの基本概念とデータ構造、基本的なソフトウェア開発方法とツールを含んでいる。

このエリアのコア時間は Tier1 のみで、43 時間となっている。

SDF/Algorithms and Design (Tier1 : 11 時間) アルゴリズムと設計

AL エリアの中核概念、特に Basic Analysis ユニットと Algorithmic Strategies ユニットのための基礎を与える、アルゴリズムと設計に関するユニットである。トピックスには、アルゴリズムの概念と特性、問題解決過程におけるアルゴリズムの役割、問題解決戦略、基本的設計概念と原理（抽象化、プログラム分割、カプセル化と情報隠蔽、仕様と実

現の分離)がある。

SDF/Fundamental Programming Concepts (Tier1 : 10 時間) プログラミングの基本概念

PL エリアの中核概念の特にパラダイムとして扱われる Object-Oriented Programming ユニット、Functional Programming ユニット、および、Event-Driven and Reactive Programming ユニットのための基礎を与える、プログラミングの基本概念に関するユニットである。トピックスには、高水準言語の基本構文と意味論、変数と基本データ型、式と代入、ファイル入出力を含む単純な入出力、条件判定と繰返しの制御構造、関数と引数受渡し、再帰の概念がある。

SDF/Fundamental Data Structures (Tier1 : 12 時間) 基本データ構造

AL エリアの中核概念の特に Fundamental Data Structures and Algorithms ユニットと Basic Automata, Computability and Complexity ユニットのための基礎を与える、基本データ構造に関するユニットである。トピックスには、配列、レコード/構造体、文字列と文字列処理、抽象データ型とその実現法 (スタック、キュー、順位キュー、集合、マップ)、参照とエイリアシング、連結リスト、適切なデータ構造を選ぶ戦略がある。

SDF/Development Methods (Tier1 : 10 時間) 開発方法

SE エリアの中核概念の特に Software Processes ユニット、Software Design ユニットおよび Software Evolution ユニットのための基礎を与える、開発方法に関するユニットである。トピックスには、プログラム理解、プログラムの正当性 (エラーのタイプ、仕様の概念、防御プログラミング、コードレビュー、テスト基盤とテストケース生成、契約の役割と利用、単体テスト)、単純なりファクタリング、プログラミング環境 (コードサーチ、ライブラリ構成要素とその API を使ったプログラミング)、デバッグ戦略、文書化とプログラムスタイルがある。

2.1.17. Software Engineering (SE) ソフトウェア工学

ソフトウェア開発ライフサイクルに従った知識を学び、その知識に基づいて高品質なソフトウェアを開発するための技術と成果物の品質、およびプロセスを評価するための技術を学ぶ。PBD や SDF で実践的な技術を詳細に学習するため、ここではソフトウェア開発に関する重要な概念を学習することが主な目的となる。

このエリアのコア時間は、Tier1 が 8 時間で、Tier2 が 20 時間となっている。

SE/Software Process (Tier1 : 2 時間、Tier2 : 1 時間、選択) ソフトウェアプロセス

ソフトウェア開発プロセスに関するユニットである。トピックスには、システムレベルの検討、ウォータフォール、インクリメンタル、アジャイルといったソフトウェアのプロセスモデルの紹介、大規模開発におけるプログラミングと一人で行うプログラミングの違いが含まれる。

SE/Software Project Management (Tier2 : 2 時間、選択) ソフトウェアプロジェクトマネジメント

ソフトウェア開発プロジェクトの管理に関するユニットである。ただし、管理者としての知識や技術ではなく、PSP (Personal Software Process) で求められているような、チームに参加する技術者としての役割や責任、技術が対象である。Tier1 はない。トピックスには、開発チームへの参加、個人レベルの労力の見積り、リスクに関する事柄が含まれる。

SE/Tools and Environment (Tier2 : 2 時間) ツールと環境

ソフトウェア開発で使われるツールや開発環境に関するユニットである。Tier1 はない。トピックスには、構成管理、版管理、リリース管理、モデリングツール、テストツール、プログラミング環境、ツール統合の概念と仕組みが含まれる。

SE/Requirements Engineering (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 3 時間、選択) 要求工学

ソフトウェア開発プロジェクトの成功を左右する要求工学に関するユニットである。Tier1 のトピックスには、ユースケースやユーザストーリーなどを用いた機能要求の記述、要求の特性がある。Tier2 のトピックスには、要求抽出、データを記述する技術、非機能要求とソフトウェア品質との関係、要求仕様書の評価が含まれる。

SE/Software Design (Tier1 : 3 時間、Tier2 : 5 時間、選択) ソフトウェア設計

ソフトウェアの設計法に関するユニットである。主なトピックスには、ソフトウェアの設計原理、設計パラダイム、構造と振舞いのモデル、デザインパターンが含まれる。選択トピックスには、IAS/Principles of Secure Design と関係のある項目が含まれる。

SE/Software Construction (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 1 時間、選択) ソフトウェアの構築

ソフトウェアの作成法に関するユニットである。Tier1 のトピックスには、コーディング規約、イディオムがある。Tier2 のトピックスには、防御的コーディング、セキュアな

コーディング、例外処理の使い方が含まれる。IAS/Defensive Programming および SDF/Development Methods と関係がある。

SE/Software Verification and Validation (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 3 時間、選択) ソフトウェアの検証と妥当性確認

ソフトウェアの検証と妥当性確認 (V&V) に関するユニットである。Tier1 のトピックスには、V&V の概念と V&V に適用される技術が含まれる。Tier2 のトピックスには、テストの種類、欠陥の追跡、テストの限界など、IAS/Secure Software Engineering および SDF/Development Methods と関係のある内容が含まれる。

SE/Software Evolution (Tier2 : 2 時間) ソフトウェア進化・発展

従来の保守 (Maintenance) に代わり、進化・発展に相当する Evolution を使うようになった。これがこのユニットのテーマである。トピックスには、ソフトウェアの変更、進化・発展、保守性の高いソフトウェアの特徴、リエンジニアリング、再利用が含まれる。

SE/Software Reliability (Tier2 : 1 時間、選択) ソフトウェアの信頼性

ソフトウェアの信頼性に関するユニットである。Tier2 のトピックスには、ソフトウェア信頼性、障害、欠陥の概念がある。ソフトウェア信頼性モデル、ソフトウェア・フォールトトレランス技術、ソフトウェア信頼性工学、信頼性を分析するための計測は、いずれも選択のトピックスであり、SF/Reliability through Redundancy と関係のある内容を含む。

SE/Formal Methods (選択) 形式手法

形式的手法に関するユニットである。DS の知識エリア、特に DS/Sets, Relations, and Functions、DS/Basic Logic および DS/Proof Techniques と深い関係のある内容を取り扱う。トピックスには、ソフトウェア開発サイクルにおける形式的仕様および分析技術の役割、プログラムの表明言語と分析方針、ソフトウェアモデリングと分析に対する形式手法の取組みなどが含まれる。

2.1.18. Systems Fundamentals (SF) システム基礎

システムの基礎に関するエリアである。コンピュータ科学の各分野に共通して現れる基本的概念を取り出して、簡潔かつ統一された説明を与えることをねらっている。これらの概念は、従来、他の分野とは独立にそれぞれの分野で教えられていたが、それでは原理の

共通性を理解できないという問題があった。

コア時間は、Tier1 が 18 時間、Tier2 が 9 時間になっている。

SF/Computational Paradigms (Tier1 : 3 時間) 計算パラダイム

計算パラダイムに関するユニットである。トピックスには、コンピュータの基本要素（ゲート、フリップフロップなど）、論理式と最小化、アプリケーションレベルの逐次処理、簡単な並列処理、パイプライン、スケーリングがある。

SF/Cross-Layer Communications (Tier1 : 3 時間) レイヤ間通信

レイヤ間のやり取りに関するユニットである。トピックスには、プログラムの抽象化、インタフェース、ライブラリ、アプリケーションと OS の関係、仮想マシン、信頼性がある。

SF/State and State Machines (Tier1 : 6 時間) 状態と状態機械

状態機械に関するユニットである。トピックスには、連続的なシステムと離散的なシステム、論理式と最小化、クロック、状態、組合せ回路、順序回路、ネットワークプロトコルがある。

SF/Parallelism (Tier1 : 3 時間) 並列処理

並列処理に関するユニットである。トピックスには、逐次処理と並列処理、並列プログラミングと並行プログラミング、要求並列性とタスク並列性、クライアントサーバ、スレッド、パイプライン、マルチコアアーキテクチャがある。

SF/Evaluation (Tier1 : 3 時間) 性能評価

性能評価に関するユニットである。トピックスには、性能評価、ベンチマーク、データの収集と評価の方法、アムダールの法則がある。

SF/Resource Allocation and Scheduling (Tier2 : 2 時間) リソース割当てとスケジューリング

リソース割当てとスケジューリングに関するユニットである。トピックスには、リソースの種類、スケジューリングの種類、公平なスケジューリングと横取りありスケジューリング（プリエンプティブスケジューリング）がある。

SF/Proximity (Tier2 : 3 時間) 近接と性能向上

高速化に関するユニットである。トピックスには、光の速度、遅延時間、キャッシュ、メモリ階層がある。

SF/Virtualization and Isolation (Tier2 : 2 時間) 仮想化と分離

仮想化に関するユニットである。トピックスには、保護と性能の関係、間接のレベル、仮想記憶や仮想マシンの実現法がある。

SF/Reliability through Redundancy (Tier2 : 2 時間) 冗長化による信頼性向上

冗長化による信頼性向上に関するユニットである。トピックスには、バグと欠陥、検査と再試行による冗長性、冗長コーディング、複製、その他のアプローチがある。

SF/Quantitative Evaluation (選択) 定量的評価

性能評価に関するユニットである。トピックスには、分析ツール、O 記法、システム内の遅延要素、性能低下を起こす事象（ページフォルトなど）、階層化システムがある。

2.1.19. Social Issues and Professional Practice (SP) 社会的視点と情報倫理

情報科学・工学のカリキュラムでは技術的な知識や課題解決能力を育成することが重要ではあるが、それだけでは不十分である。情報技術がもつ社会的な意味や、情報技術者が社会において果たすべき義務と責任について、明確な理解を促すような科目の設計がなされなければならない。そこでは、コンピュータに代表されるような情報技術とその応用について、歴史的、文化的、社会的、経済的、倫理的、または、哲学的な広い分野の視野を得られるようにすることが重要である。以上の分野を総合的に扱う。

このエリアのコア時間は Tier1 が 9 時間、Tier2 が 5 時間であり、5 個の選択ユニットがある。

SP/Social Context (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 2 時間) 社会におけるコンピュータ

最近のコンピュータの発達とネットワーク化に伴って社会に生じる諸問題に関するユニットである。トピックスには、ネットワーク化された世界におけるコンピュータの社会的影響、個人主義、集団主義および文化に対するソーシャルメディアの社会的影響などがある。

SP/Analytical Tools (選択) 分析ツール

情報倫理を分析し価値判断する方法に関するユニットである。トピックスには、倫理的な議論、倫理理論と意思決定、道徳的な前提と価値などがある。

SP/Professional Ethics (Tier1 : 2 時間、Tier2 : 2 時間) 専門家としての倫理的責任

専門家として必要な倫理的責任に関するユニットである。トピックスには、コミュニティの価値観と我々が生きるための法律、専門家精神の本質、専門家としての自己評価、技術的な最新性の維持管理、説明責任などがある。

SP/Intellectual Property (Tier1 : 2 時間、選択) 知的財産権

ソフトウェアプログラムなどの資産における無形の所有権の範囲に関するユニットである。トピックスには、知的財産権（特許、著作権、企業秘密、商標）、知的財産権の哲学的基礎、無形デジタル知的財産権（Intangible Digital Intellectual Property）などがある。

SP/Privacy and Civil Liberties (Tier1 : 2 時間、選択) プライバシーと市民的自由

電子情報共有におけるプライバシー保護と情報アクセスのバランスに関するユニットである。トピックスには、プライバシーの哲学的基礎、プライバシー保護の法的基盤、広範囲データ収集におけるプライバシーへの影響などがある。

SP/Professional Communication (Tier1 : 1 時間、選択) 専門家としてのコミュニケーション能力

専門家として特に技術情報を伝える方法、その意義などに関するユニットである。トピックスには、効果的な技術文書と資料の作成方法、ソースコードとドキュメントを含む技術資料の読解、理解、要約について、利害関係者との専門的コミュニケーションなどがある。

SP/Sustainability (Tier1 : 1 時間、Tier2 : 1 時間、選択) 持続可能性

コンピュータの発達において将来に向けて持続可能である社会に関するユニットである。トピックスには、実施決定における文化的および環境的影響について、持続可能な設計基準のためのガイドライン、エネルギー、公害、資源利用、リサイクルと再利用などの環境問題とコンピュータの影響についてなどがある。

SP/History (選択) 歴史

コンピュータ発達の歴史に関するユニットである。トピックスには、1946年以前の世界、コンピュータ発達におけるパイオニア、インターネットの歴史などがある。

SP/Economies of Computing (選択) コンピュータにおける経済問題

コンピュータ周辺の経済問題に関するユニットである。トピックスには、独占とその意味、コンピュータ製品の品質に関する熟年労働需給の影響、価格戦略、ソフトウェア開発のアウトソーシングとオフショアリングの現象などがある。

SP/Security Policies, Laws and Computer Crimes (選択) セキュリティポリシー、法律、コンピュータ犯罪

情報システムの脆弱性とコンピュータ犯罪に関するユニットである。トピックスには、コンピュータ犯罪の例、ソーシャルエンジニアリング、個人情報の盗難と復旧、ウイルス、ワーム、トロイの木馬などのマルウェアの影響などがある。

SP/Social Network (選択) ソーシャル ネットワーク

ソーシャルネットワークに関するユニットである。トピックスには、ソーシャルネットワークの概要、ソーシャルネットワークプラットフォームの例、ソーシャルネットワークグラフの構造などがある。

3. ACM/IEEE-CS への報告

学科領域別カリキュラム標準の策定は、ACM、IEEE-CS、AIS による該当のカリキュラム標準を出発点として、J07 および日本国内の情報専門学科の状況や専門技術の現状を踏まえて行った。この時の検討内容は、英文でまとめて、ACM、IEEE-CS、AIS 等、元の標準を作成した団体にも報告することとする。

以下に修正、加筆のあったエリアのみを列挙する。

Architecture and Organization (AR)

AR/Digital Logic and Digital Systems の歴史的視点を削除した。「命令セットアーキテクチャ」と「マイクロアーキテクチャ」という用語をそれぞれ Assembly Level Machine Organization と Functional Organization で明確に挙げた。Assembly Level Machine Organization で扱われていた「制御ユニット」を Functional Organization に移動した。そして前者では新たに「命令格納式コンピュータにおける命令実行の3つのステップ」というトピックスを加えた。「フォンノイマンマシン」という用語を「命令格納式コンピュ

ータ」に置き換えた。

Computational Science (CN)

構成や必修要件などには変更がない。各ユニットにおいては、文章として書かれていたクロスリファレンスを抽出して、クロスリファレンスという項目において、参照することとした。また、Numerical Analysis のユニットにおいては、トピックスの中で常微分方程式の解法に、修正オイラー法およびルンゲ・クッタ法を追加した。

Graphics and Visualization (GV)

構成や必修要件などには変更がない。Fundamental Concepts のユニットにおいては、MR のエリアができたことから、可逆圧縮、非可逆圧縮の項目およびそれに関連する学習目標に書かれていた画像形式などの項目を MR のユニットの方に移動した。また、国際標準の CIE L*a*b* 表色系について言及した。選択の部分にあった Double Buffering の項目は削除した。Advanced Rendering のユニットにおいては、GPU を使ったコンピュータシェーダの項目を追記した。

Information Management (IM)

IM/Indexing では、トピックスをサブタイトルで分け、物理的観点と論理的観点に並べた。また、Learning Outcomes をこれに伴って並べ直した。IM/Distributed Databases では、Data replication and weak consistency models を Parallel DBMS から Distributed DBMS に移動した。IM/Information Storage and Retrieval では、トピックスに評価項目（再現率・適合率・マイクロ適合率）を追加した。

Intelligent Systems (IS)

IS/Basic Knowledge Representation and Reasoning の導出原理に関する項目を Advanced Knowledge Representation and Reasoning に移動し、新たに推論の健全性と完全性を追加した。IS/Advanced Knowledge Representation and Reasoning には、上述の移動した導出原理に関する項目をトピックスおよび Learning Outcomes に追加した。

Media Representation (MR)

元々 CS2013 にはないエリアである。基本構成は J07 の内容を踏襲しているが、CS2013 で分散していた情報理論の項目、デジタル化における標本化、量子化問題、圧縮についてももう少し立ち入った内容を扱えるようなユニットをまとめて扱えるようにしている。特

に Character Codes のユニットにおいては、漢字も含めた多種の文字を扱う日本語およびアジア圏特有の問題を特集している。これは、ASCII 主体の CS2013 に対して際立った特徴をなしている。英語圏では理解の得られにくい文字の字形の問題についても扱う内容となっている。また、Authoring Target Information のユニットにおいては、情報提示のための論理的な構造の設計について明示し、併せて英語では少ない表記の揺れの問題について積極的に扱えるように項目を示した。デジタル化のユニットにおいて、Tier1 で1時間、情報理論と標準化・量子化のユニットにおいて、Tier2 で1時間を計上した。

Networking and Communication (NC)

「輻輳制御」を「QoS 制御」に変えた。NC/Social Networking のユニットを SP に移動した。

Operating Systems (OS)

OS/Operating System Principles に、プログラムのリンキングとローディング、GUI と OS のトピックスを追加した。OS/Concurrency に、CS2013 で PD に組み込まれた相互排除、同期に関するトピックスを追加した。また、OS/Scheduling and Dispatch から、プロセスとスレッドのトピックスを OS/Concurrency に移動した。OS/Virtual Machines から、仮想記憶および仮想ファイルシステムのトピックスを、それぞれ OS/Memory Management、OS/File Systems に移動した。OS/Device Management の名称を OS/I/O Management に変更するとともに、ネットワーク管理のトピックスを追加した。OS/Security and Protection に、セキュア OS のトピックスを追加した。

Platform-Based Development (PBD)

トピックスの中に例示されている具体的なプラットフォームおよび使用言語の一部を技術進化に伴い更新した。

Parallel and Distributed Computing (PD)

PD/Parallelism Fundamentals と OS/Concurrency の間で相互にクロスリファレンスを追加した。

Software Engineering (SE)

SE/Requirements Engineering の Learning Outcomes の 7. で、ソフトウェア要求のレビューを行うことを要求しているが。ここに、ソフトウェア要求の品質を定めた

ISO/IEC/IEEE 29148:2011 を参照することを明記した。また、選択項目に「要求変更の実践的な管理プロセスを知っていること」を追加した。SE/Software Construction のコア 1 時間を Tier2 から Tier1 に移した。具体的には、Tier2 の項目「Coding practices: techniques, idioms/patterns」を Tier1 に移動した。SE/Software Verification and Validation も同様に、コア 1 時間を Tier2 から Tier1 に移した。具体的には、Tier2 の項目「Verification and validation concepts」と「Inspections, reviews, audits」を Tier1 に移動した。

Social Issues and Professional Practice (SP)

NC から Social Networking を追加した。Analytical Tools を Tier1 から選択に変更した。倫理教育は、適応範囲が広く、コアとして時間をとるのは難しいためである。

参考文献

- [1] The Joint Task Force on Computing Curricula: Computing Curricula 2001 Computer Science, IEEE Computer Society/ACM (2001).
- [2] The Joint Task Force on Computing Curricula: Computer Science Curricula 2013, ACM/IEEE Computer Society (2013).
- [3] 情報処理学会情報教育カリキュラム調査委員会 J97 策定ワーキンググループ:大学の理工系学部情報系学科のためのコンピュータサイエンス教育カリキュラム J97(第 1.1 版), 情報処理学会 (1999).
- [4] 情報処理学会コンピュータ科学教育委員会:カリキュラム標準コンピュータ科学 J07-CS 報告書, 情報処理学会 (2009).

情報学を専門とする学科対象の
教育カリキュラム標準の策定及び提言

IS

情報学を専門とする学科対象の
教育カリキュラム標準の策定及び提言

IS

目次

1. IS学教育の動向調査	1
2. カリキュラム標準 J17-IS (要約)	13
3. ACM/AIS への報告	40

WG 構成

富澤眞樹(主査)	前橋工科大学
松澤芳昭(副主査)	青山学院大学
石川洋	新潟国際情報大学
石井信明	神奈川大学
居駒幹夫	(株) 日立製作所
柿崎淑郎	東京電機大学
鎌田真由美	日本マイクロソフト(株)
川喜田博幸	富士通株式会社
神沼靖子	
児玉公信	(株) 情報システム総研
清水則之	エドノール・インスティテュート
高木義和	新潟国際情報大学
田名部元成	横浜国立大学
辻秀一	特定非営利活動法人(NPO 法人) M2M 研究会
原潔	
松永賢次	専修大学
丸山広	青山学院大学
宮川裕之	青山学院大学
渡邊慶和	岩手県立大

1. IS学教育の動向調査

1.1. ACM/AISのISカリキュラム標準

1.1.1. IS 2010

情報システム(IS)の学部生向けの国際的なカリキュラムガイドラインとして、ACMとAISが共同で策定した現在最も新しいバージョンは、IS 2010 (IS 2010 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems)である。J07-IS策定時に参照したIS 2002がIS'97のマイナーバージョンアップという位置付けであったのに対し、IS 2010はその間の技術領域の変化に対応するよう、IS 2002に対するメジャーバージョンアップという位置づけとなっている。IS 2002までは、主として北米でのビジネス領域を対象とした学部レベルの教育機関を想定したカリキュラムモデルであったが、IS 2010では、グローバルな多様な教育機関に対応できるモデルカリキュラムガイドラインとして策定されている。

IS 2010以降、学部レベルのISカリキュラムガイドラインは策定されていないが、大学院修士レベルのISカリキュラムとして、ACMとAISが共同で、MSIS 2016(Global Competency Model for Graduate Degree Programs in Information Systems)が策定されている。MSIS 2016においても、グローバルで多様な教育機関で利用できることを重視しており、卒業時に身につけるコンピテンシーを重視したものとなっている。

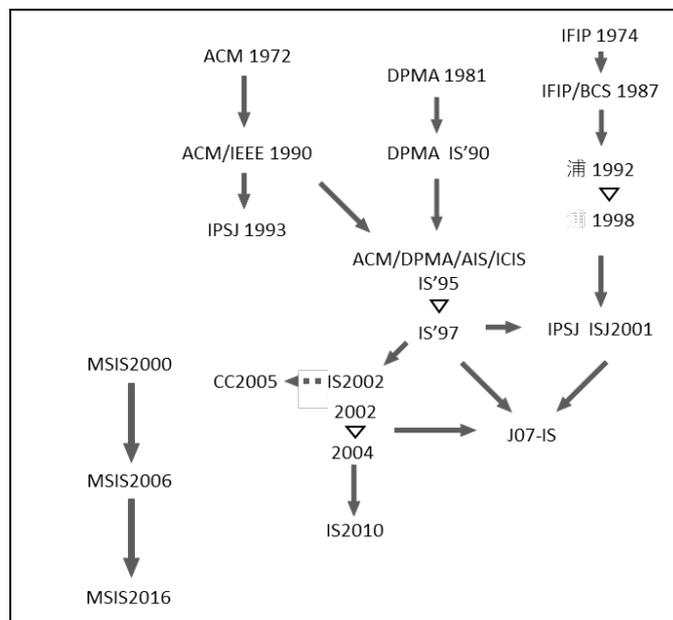


図1 情報システム(IS)に関するカリキュラムモデルの変遷

「“情報システム領域(J07-IS)” 情報処理, Vol. 49, No.7 (Jul. 2008)」の図-1をもとに追加・修正

以下 IS 2010 が、IS 2002 (IS 2002 Model Curriculum and Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems) からどのように改訂されているか述べていく。

1.1.2. IS 2010 におけるカリキュラム設計の原則

IS 2010 のカリキュラム設計の原則は次の通りとなっている。

- ① モデルカリキュラムは、情報システム (IS) コミュニティのコンセンサスを示したものであるべきである。
- ② IS プログラムは、企業で職務を遂行し、大学院でさらなる情報システムの研究ができる、有能で信頼できるエントリーレベルの卒業生を輩出する。モデルカリキュラムは、このような IS プログラム構成の支援をするように設計されるべきである。
- ③ モデルカリキュラムは、個別カリキュラム実装の手引となるべきであるが、その実装を規定すべきではない。モデルカリキュラムガイドラインを用いて、教員は独自のコースを設計できるし、教育機関は独自のプログラムを設計できる。
- ④ モデルカリキュラムは、確立された教育方法論に基づくものであり、IS の教員がカリキュラムを検討する際に良い示唆を与えるべきである。
- ⑤ モデルカリキュラムは、広く IS プログラム開発に活用できるための適応性と柔軟性を備えているべきである。
- ⑥ モデルカリキュラムは、特定のドメインに限定されるものではない。ただし、IS プログラムは、通常いくつかのドメインと関連している。
- ⑦ モデルカリキュラムは、国際的な IS プログラムに共通するコアの内容を持つ。
- ⑧ モデルカリキュラムは、キャリアターゲットを持ち、ターゲットにはコアと選択の内容を必要とする。
- ⑨ モデルカリキュラムは、特定の教授法に関する問題には焦点を当てない。本策定委員会は教授法の重要性について認識しているが、教授法に関する深い考察については、本文書の対象外とする。

IS 領域の変化が激しいため、カリキュラムの基礎を評価し直している。特に次の 2 点が重要である。

- ① ビジネスの領域に限定しないようにする。

IS 2002 では、ビジネスのドメイン知識は必須としていた。IS の主たるドメインはビジネスであるが、その枠を超えて、多様なドメインを対象として扱えるようにするための重要な専門性を身に付くようにする。

② IS の卒業生に期待されるアウトカムを見直し、カリキュラムトピックを変更した。

IS 2002 ではすべてのコースが必須であり、各教育機関が独自に変革をする余地が少なかった。IS 2010 では、より柔軟であるようにするため、すべての IS プログラムに共通のコアコースを7つとした。各教育機関が7つのコアコースを、より少ないコース内の構成要素として実現しても良い。コアの内容は、すべての教育機関が同じレベルの深さで教える必要はないが、プログラム毎に定めたレベルで扱う必要がある。

1.1.3. IS2010 で期待している能力

IS の将来の役割を考慮すると、IS の専門性に関する次の4つのエリアに関連している。

- ① IS の専門家は、幅広いドメインに存在する。例えば、ビジネス、健康、政府、NPO である。
- ② IS の専門家は、競争の激しいグローバル環境で成功するため、分析的・批判的思考の強力なスキルを持たなければならない。
- ③ IS の専門家は、強力な倫理規範を持ち、個人間のコミュニケーションとチームのスキルを持たなければならない。
- ④ IS の専門家は、組織のパフォーマンスを高めるような、IT ソリューションを設計し、実現しなければならない。

IS 2010 では、「最も高いレベルのアウトカムの期待として定義している高レベルな IS 能力」を示し、次にそれを達成するため必要となるドメイン知識・スキルを示している。

最も高いレベルのアウトカムの期待として定義している、高レベルな IS 能力は、次の通りである。

- 組織のプロセスを改善すること
- 技術のイノベーションによって生み出される機会を活かすこと
- 情報の要求を理解し対処すること
- エンタープライズアーキテクチャを設計し管理すること
- ソリューションと取得方法の代替案を見つけ出し評価すること
- データとインフラストラクチャを安全にすること
- IT のリスクを理解し管理しコントロールすること

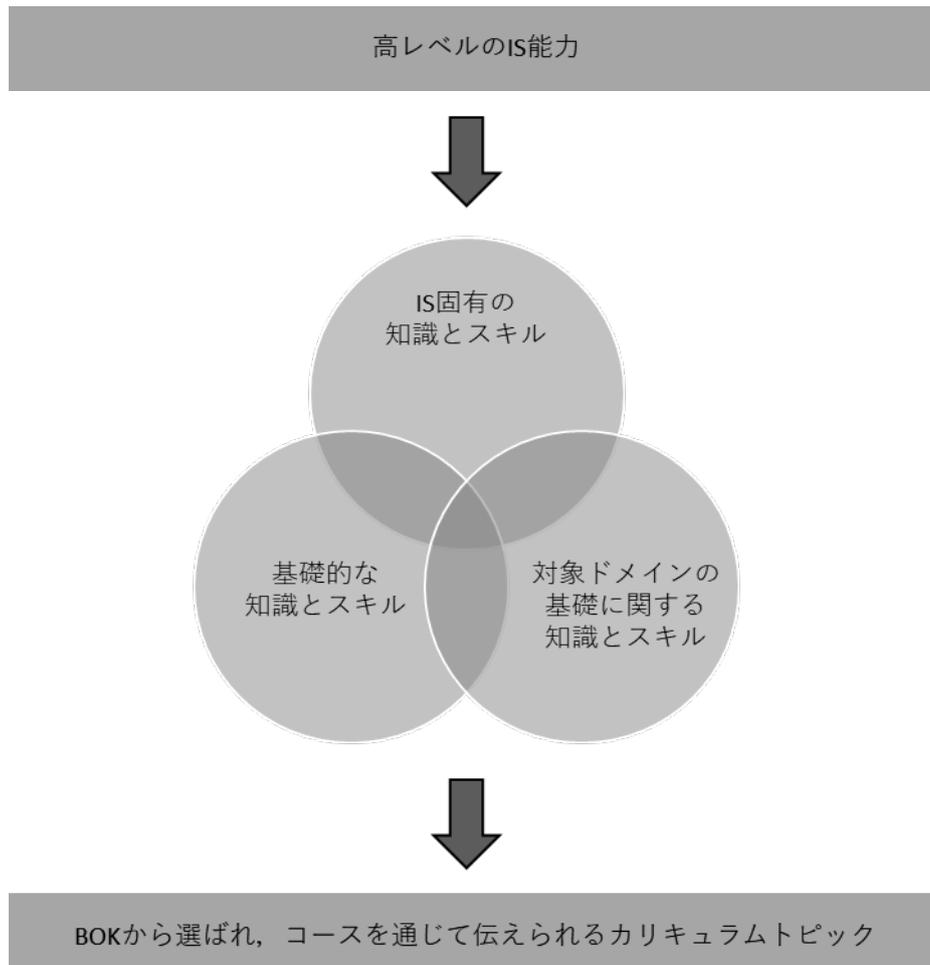


図2 IS 2010の基本コンセプトの全体構造

IS 2010のFigure 3をもとに作成

これらの能力を、3つの領域の知識・スキルに変換したものが次の通りである。

① IS固有の知識とスキル

- ITによって可能となる組織の改善の機会を見つけ出し設計する
- トレードオフの分析
- 情報システムのソリューションの設計と実装
- 進行中の情報技術のオペレーションを管理する

② 基礎的な知識とスキル

- リーダーシップと共同作業
- コミュニケーション
- ネゴシエーション

- 分析的・批判的思考（創造性と倫理的分析を含む）
 - 数学的な基礎
- ③ 対象ドメインの基礎に関する知識とスキル
- 対象ドメインの一般的なモデル
 - 対象ドメイン内の鍵となる専門性
 - 対象ドメイン内のパフォーマンスの評価

IS 2010 では、「IS 固有の知識とスキル」に焦点をあてたコースを示している。

1.1.4. IS 固有の知識とスキルに焦点をあてたコース

IS 2010 のコースは、他の Computing Curriculum Volume と同様に、図 3 の構成となっている。「コース」は、「コース記述」、「学習目標」の集まり、知識を三段階に階層化した「トピック」の集まりで記述される。

実現されたカリキュラムアーキテクチャ

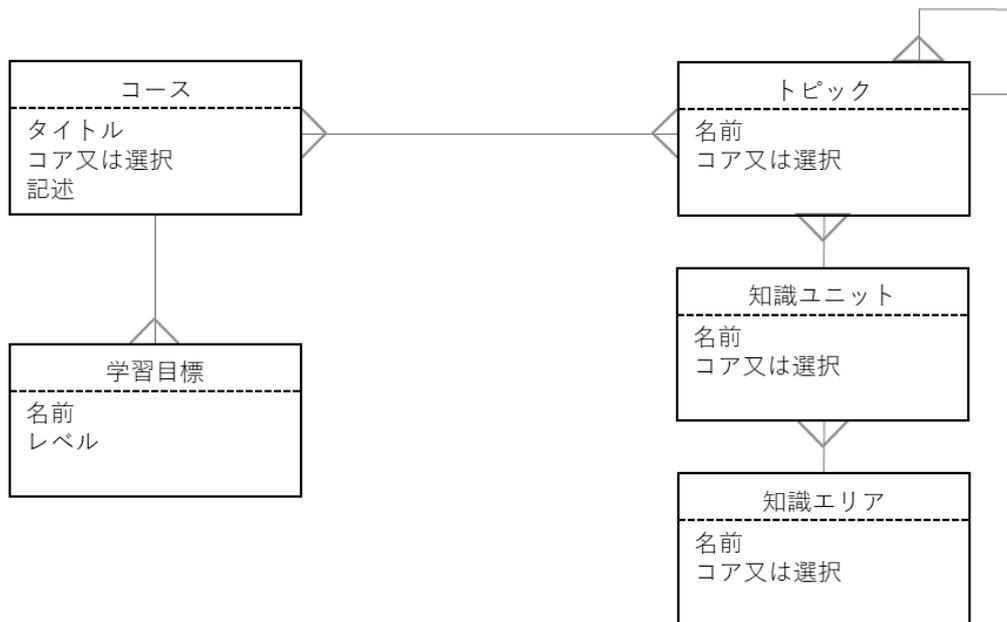


図 3 IS 2010 のカリキュラム構造

IS 2010 の Figure 5 をもとに作成

IS 2010 ではコア（必須）コースが7つにまとめられている。コアコース間の順序関係を示すのが、図4である。

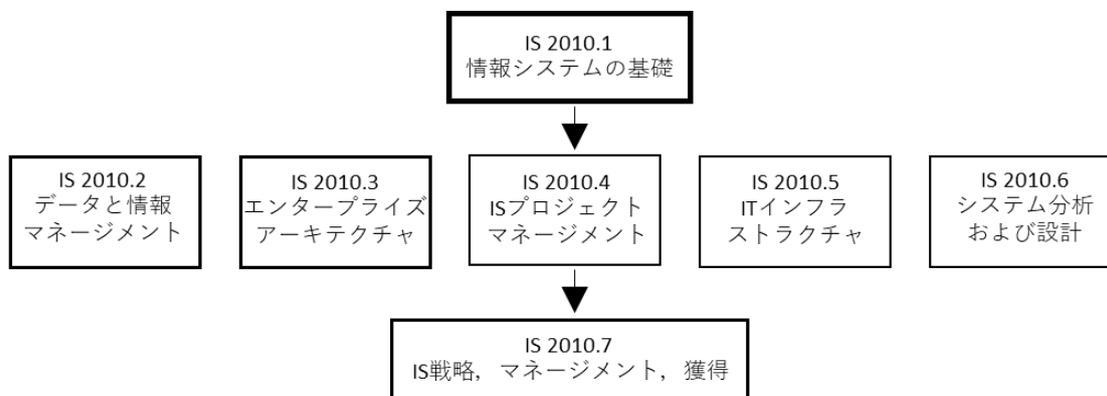


図4 IS 2010のコアコース

IS 2010 の Figure 7 をもとに作成

IS 2010 のコアコースは、IS 2002 と比較して次のようになっている。

- ① 「アプリケーション開発」はコアには入らない。
- ② ネットワーキングとコンピュータアーキテクチャは、「IT インフラストラクチャ」のコース (IS 2010.5) において、より高い抽象度で扱う。
- ③ 「エンタープライズアーキテクチャ」と、「IS プロジェクトマネージメント」がコアの一部となる (IS 2010.3, IS 2010.4)。
- ④ 個人の生産性についてのコースは、カリキュラムから取り除いた (J07-IS では、J07-IS00 に相当する)。
- ⑤ 前提要件の構造を単純化した。「データと情報マネージメント」、「システム分析および設計」がコアカリキュラムの中心として残っている (IS 2010.2, IS 2010.6)。

このように、コースの内容及び順序関係を単純化することで、多くの教育機関で IS 2010 を容易に取り入れられるようにしている。

また、情報システムを主専攻としない学生にとってのサブセットについても述べられている。コアカリキュラムのコースの中で、すべての学生を対象とするものが「情報システムの基礎 (IS 2010.1)」であり、情報システムを副専攻とする学生に対しては「データと情報マネージメント (IS 2010.2)」、「エンタープライズアーキテクチャ (IS 2010.3)」、「IS 戦略、マネージメント、獲得 (IS 2010.7)」を学ぶことが示されている。

コア以外のコース内容は、選択コースとなる。IS 2010 では次に示す代表的な選択コースを例示としてあげている。

- アプリケーション開発
- ビジネスプロセスマネジメント
- エンタープライズシステム
- ヒューマン・コンピュータインタラクション
- IT 監査・コントロール
- 情報システムの変革と新技術
- ITセキュリティとリスクマネジメント

アプリケーション開発 (IS 2002 では、IS 2002.5 プログラミング、データ、ファイル、及びオブジェクト構造) がコアから選択に移動したのは、非ビジネス領域を対象とした IS コースを設計できるようにするためである。プログラミングを含むプログラムを設計する際には、CS あるいは IT のカリキュラムを参考にすることができる。

図 5 は、学生たちの卒業後のキャリアトラック (アプリケーション開発者、ビジネスアナリスト等) によって、コアコースと選択コースをどのように組み合わせると良いのかを示したものである。黒丸は、各コースで示した内容の多くをカバーすることを示すもので、一方、白丸は、各コースの中で必要な部分を選んで扱えば良いことを示している。コアコースは必須であるため、黒丸又は白丸となっているが、各教育機関又は学生が想定するキャリアによって、科目内容の範囲や深さを調整できることを示している。

	アプリケーション開発者	ビジネスアナリスト	ビジネスプロセスアナリスト	データベース管理者	データベースアナリスト	eビジネスマネージャ	ERPスペシャリスト	情報監査・コンプライアンススペシャリスト	ITアーキテクト	ITアセットマネージャ	ITコンサルティング	ITオペレーションマネージャ	ITセキュリティ・リスクマネージャ	ネットワーク管理者	プロジェクトマネージャ	ユーザインタフェースデザイナー	Webコンテンツマネージャ
コアISコース																	
情報システムの基礎	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
エンタープライズアーキテクチャ	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○
IS戦略, マネージメント, 獲得	○	●	○	○	○	●	○	○	●	○	●	○	○	○	●	○	○
データと情報マネージメント	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○	●	○	●	○	○	○	○
システム分析および設計	●	●	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
ITインフラストラクチャ	○	○	○	●	○	○	○	●	●	●	○	○	○	●	○	○	○
ISプロジェクトマネージメント	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●
選択ISコース																	
アプリケーション開発	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
ビジネスプロセスマネージメント		●	●			○	○	○		○	●				○		
コラボレーティブ コンピューティング						○								○			○
データマイニング, ビジネスインテリジェンス		●		●	●	○	○	○	●		○	○	○	○	○		○
エンタープライズシステム		●	●	○	○	○	●	●	○		●	●	○	○			
ヒューマン・コンピュータインタラクション	●					○	○				○					●	
情報検索・獲得		○		○	●								○				●
IT監査・コントロール	○		●	○	○	○	○	●		●	○		○	○	○		○
ITセキュリティ・リスクマネージメント	○			○	○	○	○	●	●	○	○		●	●	○		○
ナレッジマネージメント		●		○		○	○			○							
社会情報学													○		○		

- = ほぼ扱う
- = 一部扱う
- 空白 = 扱わない

図5 IS 2010 に示されたキャリアトラックとコースの関係

IS 2010 の Figure 6 をもとに作成

1.1.5. 3つの能力をカバーするカリキュラム全体

IS 2010 では「IS 固有の知識とスキル」に焦点を当てたコースについて述べられている。それに加えて「基礎的な知識とスキル」と「対象ドメインの基礎に関する知識とスキル」を修得する学部カリキュラムの事例が示されている（表 1）。

表 1 IS 2010 に示された学位プログラムの例

		IS 固有	基礎	ドメイン
北米の ビジネス学科	ビジネス副専攻（4 科目）		○	○
	IS コアと選択（8 科目）	○	○	○
	ビジネスコア（8 科目）		○	○
	一般教育コア（20 科目）		○	
北米の コンピューティング学科	副専攻又は自由選択（5 科目）		○	○
	ドメインコア（5 科目）		○	○
	IS コアと選択（15 科目）	○	○	
	一般教育コア（15 科目）		○	

（IS 2010 の Figure 8, 9 をもとに作成）

北米の 1 科目は、3 単位で、35～45 時間の授業と、110～140 時間の授業時間外学習が想定されている。

「IS 固有の知識とスキル」にあてる時間について、教育プログラムの事情によって決めることができる。ビジネス学科の例では、ビジネス領域のコア科目を 8 科目とする一方、IS コアと選択は 8 科目としている。コンピューティング学科の例においては、IS コアと選択は 15 科目と充実しており、キャリアトラックにあわせて豊富な選択科目から学習することができることを示している。

1.2. 国内での IS 教育の現状

1.2.1. JABEE における認定プログラムの状況

JABEE（一般社団法人 日本技術者認定機構）により、2016 年度現在認定されている情報系学士課程教育プログラムの数は、18 プログラムある。その内訳は、CS が 16 プログラム、IS が 2 プログラム、情報一般プログラムが 1 プログラムとなっている。JABEE の認定を受けるようなレベルの IS 教育プログラムは、非常に少ないことがわかる。

1.2.2. 「超スマート社会における情報教育の在り方に関する調査研究」の分析結果

「超スマート社会における情報教育の在り方に関する調査研究」文部科学省先導的大学改革推進委託事業平成 28 年度報告書 第 2 章「情報学分野の大学教育に関する現状調査」において示されている、IS に関連する状況をまとめると以下の通りである。

調査 A（情報専門学科）の分析対象とした組織（学科、コース等）は 276 であった。J07 専門領域として IS と回答した組織は 33 と、CS の 74 に次いで多かった（報告書 表 2.2.1.1-1）。33 組織の内、対象領域（学校基本調査）が工学の組織が 22 と最も多かったが、次いで、社会科学が 6 組織、保健（医学・歯学以外）が 3 組織となっている。IS においては、対象領域の教育研究も含まれるため、ビジネスや医療に関する情報システムを扱う組織がある割合存在することがわかる。

情報専門学科における、一般情報教育および「情報学の参照基準」の大項目ごとの知識エフォートの比率が、報告書で示されている。回答された J07 専門領域ごとに比べると（報告書 図 2.2.2.1-1）、IS と回答した組織は、「(オ) 社会において情報を扱うシステムを構築し活用するための技術・制度・組織」がやや多い傾向があるものの、IS 以外と回答した組織と比較して小さな差にとどまっている。また、IS と回答した組織においても、「(イ) コンピュータで処理される情報の原理」の知識エフォート比率が最も高く、CS と回答した組織における、(イ) の比率と大きな差がない。(オ) は情報システムに関連する分野、(イ) がコンピュータサイエンスに関連する分野と考えられることから、IS と回答している組織でも CS に関連する分野の教育割合が高く、IS に関連する分野の割合は他と大きな差がないということがわかる。このことから、日本の情報専門学科において、J07 専門領域による、教育内容の差は大きくないことがわかる。

非情報系専門学科を対象とした調査 B では、「(オ) 社会において情報を扱うシステムを構築し活用するための技術・制度・組織」の知識エフォート比率が 20% 近くある分野として、家政、人文科学、社会科学がある。技能エフォート比率においては、人文科学、その他が 20% を超えている。このように、情報学の中で、情報システム分野の教育ウェイトが比較的高い、非情報系専門学科が見られることがわかる。

「(オ) 社会において情報を扱うシステムを構築し活用するための技術・制度・組織」に含まれる中項目レベルでは、情報系専門学科、非情報系専門学科とも、「情報システムを開発する技術」の割合が、他の中項目より高く、「制度・組織」よりも「技術」に重点が置かれていることがわかる。

ACM/AIS が策定した IS 2010 において、「アプリケーション開発」はコアではなく選択となっているのに対して、日本においては「情報システムを開発する技術」の高いこと、さらに IS 2010 では「IT インフラストラクチャ」はコアに含まれるが、IS 副専攻の対象には

含まれていないのに対して、日本においては「(イ)コンピュータで処理される情報の原理」のウェイトが高いことを考えると、国際的な動向と、日本における実態との差違が認められる。

1.3. J07-IS の内容

J07-IS は、ACM、AIS、AITP による IS' 97 とその後継である IS 2002、及び日本で作成された ISJ2001 を配慮して、新たなカリキュラムとして作成したものである。

J07-IS で期待している情報システム専門家像は、次の通りである。

[期待される情報システム専門家像]

情報システムの専門家として期待される人間とは、高度な職業人であって、情報システムの作成または活用についての専門知識と能力を持ち、広い視野でシステムをまとめあげられる人のことである。情報システムを企画、開発する専門家、もしくは情報システムを活用して企業や社会を変革していく専門家として期待される人間像をまとめると、次のようになる。

(1) 「情報システムの専門家としてのプロフェッショナリズムと職業倫理を備えている」
情報システムの専門家であることの自覚と誇りを持ち、市民としての一般的な倫理、高度な職業人としての倫理の上に、情報システムの専門家としての倫理を備えて真摯に仕事を遂行する。

(2) 「プロフェッショナリズムを支えるだけの情報システムについての広く深い専門知識、技術及び洞察力を持つ」

新しい情報システムを作り出す、あるいは情報システムを使って組織を改革する専門家としての専門学術、情報技術及び関連する対象領域に関する広く深い知識と技術を習得している。また、つねに新しい技術を吸収しようとする学習意欲を持ちつづけ、日々の業務の中でも自らの経験として新たなことを学び取ることがを忘れない。

(3) 「広く深い知識をまとめあげ、創造的に問題の発見と解決ができる」

広くかつ深い知識と理解に基づき、社会や組織全体といった広い視野から検討を行ない、的確に問題の発見ができる。そのうえで、組織の変革、情報システムの開発・導入について、創造的で効果のある提案ができる。また、それを実現するための実行力も備えている。

(4) 「立場や国を超えた人たちとのコミュニケーションとプレゼンテーションができる」
利害、興味、文化、国を超えて関係する多くの人とコミュニケーションを行ない、それぞれの立場を正しく理解したうえで、情報システムやその活用法を考え出すことができる。

また、自らの考えを理解してもらえらるプレゼンテーションを行なうことができ、リーダシップと協調性を備えている。

J07-IS は、図 6 に示すように、ラーニングユニット(LU)と知識体系(ISBOK)を中心に構成されている。LU は、教育目的、学習目標、関連する ISBOK によって構成される。LU を活用してカリキュラムを作成できることを示すため、モデルコースを LU の集まりとして示している。

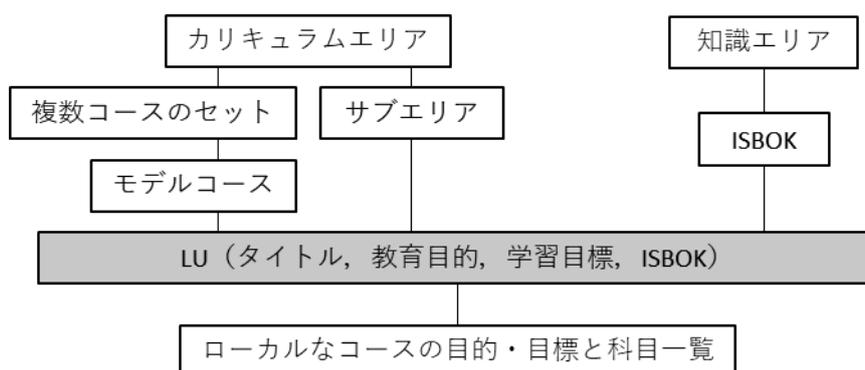


図 6 J07-IS のカリキュラムの仕組み

「“情報システム領域(J07-IS)” 情報処理, Vol. 49, No. 7 (Jul. 2008)」の図-2 をもとに追加・修正

LU は理解しやすいストーリーでまとめられるために話題の切り口に依存し、また使い方に適した粒度で作成される。粒度の大きいものでは科目に相当する LU があり、粒度の小さなものでは一つの用語の説明に相当する LU もある。小さな LU を内包した LU も存在する。

J07-IS で示されたモデルコースは、図 7 に示したものである。J07-11 として、「対象領域の情報システム」を用意することで、教育機関が提供する対象領域によってカスタマイズできるようにしている。

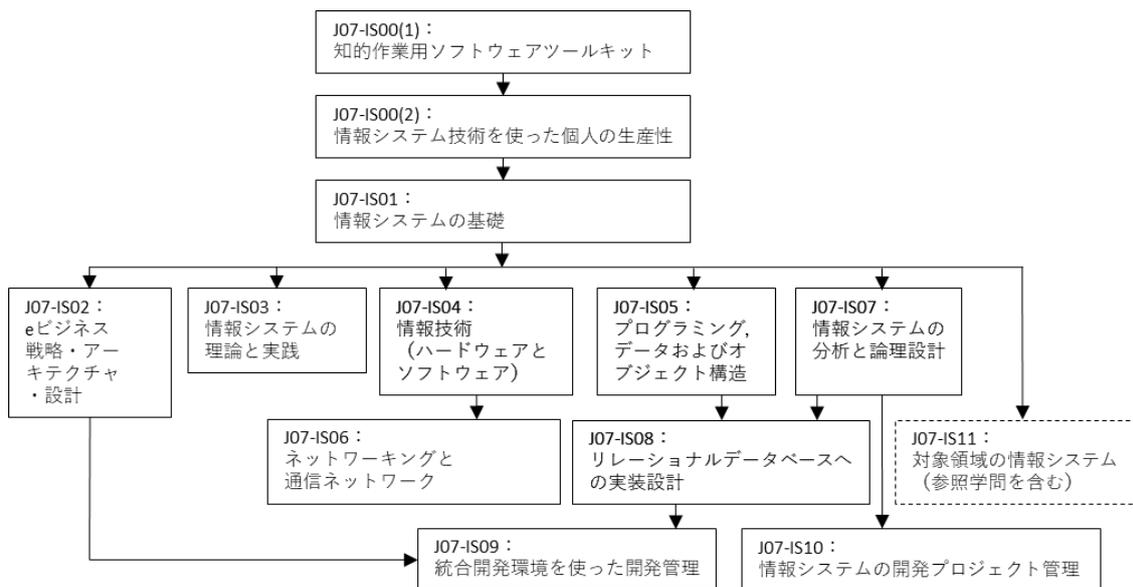


図7 J07-ISのモデルコース

「“情報システム領域(J07-IS)” 情報処理, Vol. 49, No.7 (Jul. 2008)」の図-3をもとに追加・修正

2. カリキュラム標準 J17-IS (要約)

2.1. 構成

2.2 では J17-IS が IS2010 を元にしてどのように作成したか、J07-IS とどのように違うのかについて述べる。2.3 ではラーニングユニットをどのように作成・改定したのか述べる。2.4 では、7つのコアコースの学習目標の日本語訳と、新たに用意した LU の事例を示す。2.5 では、副専攻等も含め、IS に関連する教育プログラムでの実現方法について述べる。2.6 では、今後の改訂の計画について述べる。

2.2. J17-IS 策定の考え方

J17-IS は、IS 2010 に加えて、コアカリキュラムの学習目標を満たすラーニングユニット(LU)を用意したものとする。

1.1 で述べたように、ACM/AIS が策定した IS 2010 は、その元となっている IS 2002 から大きなバージョンアップがなされている。J07-IS は、IS 2002 を大いに参考にして作成されているため、IS 2010(J17-IS)と J07-IS との間にも大きな変化があると言える。

具体的な成果物の差異は、次の通りである。

- BOK (知識体) の違い。J07-IS では、3 領域 (情報技術、組織と管理概念、システムの理論と開発) にわたって、その下に 3 階層の詳細な BOK が策定されている。一方、IS

2010 では 4 領域であり IS 固有の領域ではその下に 2 階層と簡素化されている。コンピューティング領域は、詳細を CS で記述するとされている。

- LU（ラーニングユニット）の違い。J07-IS は、LU を中心に構成されている。一方、IS 2010 においては、LU は用意されていない。
- モデルコースの違い。J07-IS のモデルコースと比べて、IS 2010 のモデルコースは簡素化されている。
- 科目事例の違い。J07-IS は、LU を活用して構成された科目事例が用意されている。その科目を利用したモデルカリキュラムを 5 つ用意した。IS 2010 では選択科目事例が示され、キャリアトラックにしたがいつどの選択科目を学習するのか、コア科目をどの程度学習するのか示している。

以上に述べた差異がある一方、IS の専門家の人材像の方針に大きな違いはない。対象ドメインをビジネス領域から広げることが、J07-IS から想定されている。1.2 で示した日本の高等教育機関で実施されている多様な IS 教育の現状に対して、J17-IS が寄与していくためには、IS 2010 が示しているカリキュラムの柔軟性の考えを含んでいることが望ましい。

そのため J17-IS は基本的に IS 2010 とし、それに加えて、日本の各高等教育機関が IS のカリキュラム、科目を構築する上で参考にできる基本単位になる LU を用意することとする。LU は J07-IS のものをベースとして、本 WG で修正・追加する。

2.3. J17-IS における LU のアップデート

IS 2010 で規定されている、7 つのコアコースの学習目標を達成できる LU を、本 WG では優先的に作成することとした。具体的には、以下の作業を行うこととした。

1. J07-IS の LU を、7 つのコアコースそれぞれに割り当てられるもの、選択科目として重要なシステム開発に割り当てられるもの、それ以外に仕分けした。
2. 仕分けした LU を精査し、現在の文脈にあわせて記述し直した方が良い箇所を修正した。
3. コアコースの学習目標と、J07-IS の LU とを付け合わせ、コアコースの学習目標の内、対応する LU がない学習目標を抽出した。
4. 抽出した学習目標を達成するような、新たな LU を作成した。
5. 新たな LU を作成する際、及び従来の LU を修正する際、セキュリティなど、IS で現在重要となっている内容を含むようにしている。

以上の作業により、7つのコアコースの学習目標すべてをカバーするLUを、J17-ISでは用意できた。その数は表2に示した通りである。ただし、「IS 2010.1 情報システムの基礎」は、基本的な内容のため、IS 2010.2～7のLUを利用しなければならないことがある。

表2 IS 2010 コアコースと対応するLU数

コアコース名	LU数
IS 2010.1 情報システムの基礎	26
IS 2010.2 データと情報マネジメント	37
IS 2010.3 エンタープライズアーキテクチャ	14
IS 2010.4 IS プロジェクトマネジメント	27
IS 2010.5 IT インフラストラクチャ	54
IS 2010.6 システム分析および設計	28
IS 2010.7 IS 戦略、マネジメント、獲得	34

今回、新たに用意したLUは、LU全体の教育目的、それを達成するための具体的な複数の学習目標から構成される内容としている。J07-ISのLUに記述されていた、関連する知識体、レベル、学年等は含まないこととしている。

IS 2010では、7つのコアコースは概念であり、各高等教育機関で実施する際には、一つの授業の内容が複数の科目に分けるなどすることができる。J17-ISにおいて、コースより小さな粒度であるLUを数多く用意することは、日本の各高等教育機関がIS教育を実施する上で、J17-ISを参考にする機会を増やすことになると考えている。

2.4. コアコースの学習目標と関連する LU 例

コースごとに、学習目標の日本語訳と、LU の中から代表的なものを約 10 個選び、以下に掲載する。

IS 2010.1 情報システムの基礎

【コースの学習目標】

1. 今日、情報システムが使われる方法と理由を理解する。
2. 情報システムの技術、人、組織の構成要素について説明する。
3. グローバル化と、グローバル化の発展において情報システムが果たした役割を理解する。
4. 「競争優位を築くもの」と「競争を保つために必要なもの」のためにいろいろな事業が情報システムをどのように利用しているかを理解する。
5. 情報システム投資の価値を理解するとともに、費用と便益の両方を見積もるなど、新しい情報システムのビジネス事例を策定することを学ぶ。
6. 情報システムインフラストラクチャの主要コンポーネントを把握する。
7. リスクを軽減するとともに、災害についてあらかじめ計画を立てるとともに、災害から復旧させる。
8. 情報システムが個人、組織、政府の間で新しい形の商取引をどのように可能にしているかを理解する。
9. 新しい形態のコミュニケーション、コラボレーション、およびパートナーシップを可能にする新興テクノロジーに注目する。
10. さまざまな種類の情報システムが、組織のさまざまなレベルや業務機能の意思決定をサポートするためのビジネスインテリジェンスを得るために必要な情報を、どのように提供するかを理解する。
11. エンタープライズシステムが顧客やサプライヤとより強固な関係を築く方法と、これらのシステムが組織の構造と業務プロセスを実施するために広く使われる方法を理解する。
12. 組織が情報システムと技術をどのように開発し、獲得するかを理解する。
13. 人と技術の両方のセキュリティ対策に焦点を当て、情報システムのリソースを保護する方法を理解する。
14. 社会で関心をもたれている情報システムの倫理的懸念と、犯罪、テロ、戦争で使われている情報システムの影響を評価する。

【LU 例】

LU ID	タイトル	教育目的	学習目標
1004	情報技術と社会	社会における情報技術の応用について紹介し、社会と情報技術の関連について説明すること。	<p>社会で利用されている情報システムの仕組みと役割、利点と欠点について、具体例をあげて説明できる。</p> <p>-----</p> <p>社会における情報技術のインパクトについて説明できる。</p> <p>-----</p> <p>企業内とグローバル環境とを対比して、情報システムの役割を説明できる。</p>
0708	費用対効果分析	情報システム化投資の有効性を説明するための費用対効果分析について理解させること。	<p>システム開発費用の見積り方法を理解し、説明できる。</p> <p>-----</p> <p>ライフサイクルの総費用と、期待される総効果を比較する方法を説明できる。</p>
1120	社会生活で利用されるネットワーク技術	社会生活で利用されている又は利用されるであろう様々なネットワーク技術について意識付けし、その特徴や社会に対するインパクトについて議論させること。	<p>個人が利用できるブロードバンド通信網やモバイル通信網及びそれらの網を利用する端末の具体例を知り、その特徴及びその特徴を活かした利用法、問題点を理解し説明できる。</p> <p>-----</p> <p>ブロードバンド通信網、モバイル通信網の普及によって、SOHOなどの仕事のやり方、家庭から企業サービスへのアクセス、個人同士の情報交換、などがどのように変化していくのか議論できる。</p> <p>-----</p> <p>ネットワーク上のクライアントサーバ型サービス及びP2P型サービスとしてどのようなサービスがあるのか具体例を知り、その特徴及</p>

			びその特徴を活かした利用法，問題点を理解し説明できる。
0122	個人対組織の情報システム	個人の情報システム要求と組織の情報システム要求を関連づけること。	個人の情報システムと組織の情報システムに関して、アプリケーション計画、開発、リスク管理について比較し対比できる。 ----- ユーザ開発のシステムにおける潜在的な問題について説明できる。
1301	ISの社会的意義	今後の知識社会における情報システムの意義（プロフィット及びリスク）について理解させること。	コンピュータ技術及び情報システムの歴史についての知識を持つ。 ----- 情報倫理についての知識を持つ。
0605	ビジネスプロセス	ビジネスの定式化について理解させること。	ビジネスモデル，ビジネスプロセスとは何かを理解する。 ----- ビジネスプロセスの表現手法を理解し，簡単なモデルを記述できる。 ----- ビジネスのモデリングを行い，シミュレーションを行うことができる。
0607	協働作業支援のための情報システム	コミュニケーションやコラボレーションに対する効果的な情報システムの活用方法について理解させること。	企業で用いられている情報システムのタイプとその特徴を述べることができる。 ----- コミュニケーションやコミュニケーションを支援する情報システムについて理解し，その特徴を述べることができる。
0606	問題解決と経営意思決定	問題解決と意思決定に対するアプローチを理解させること。	問題とは何か，どのような問題のタイプがあるのかを理解する。 ----- 問題解決のタイプについて理解する。

			意思決定問題に対するアプローチを理解する。
0137	情報使用の戦略	個人の情報管理環境について説明し、情報資源の実装、アクセス、使用に関する戦略と手段を導入すること。	<p>データ管理、及び個人や企業や他の情報資源へのアクセスについて説明できる。</p> <p>個人、作業グループ及び組織の仕事が与えられて活動するために、必要な情報技術を説明できる。</p> <p>個人または企業の情報システムや技術、IRM（情報資源管理）、開発、維持、運用などの管理に関する要求事項について議論できる。また、作業グループや部門や組織の要求事項について個々の情報技術環境と関連付けることができる。</p>
0154	I S 専門家の倫理綱領	情報システムに固有の行動を評価するために、職業上の倫理綱領を使用して説明すること。	<p>専門的な組織の特徴を特定し、それを記述できる。</p> <p>職業上の倫理基準の設定について説明できる。</p> <p>社会的な文脈や権力構造の中で発生する倫理的な問題や失敗したアプローチを説明できる。</p> <p>所与の開発環境の中でステークホルダは誰であり、開発によってそれぞれがどのような影響を受けるかを説明できる。</p> <p>倫理綱領を採用することがどういうことなのかを説明し、プロジェクトにおける行動がこれらの規定に整合的であることを保証できる。</p>

IS 2010.2 データと情報マネジメント

【コースの学習目標】

1. 組織のデータおよび情報のマネジメントにおける、データベースと DBMS の役割を理解する。
2. DBMS と論理データモデルの歴史的発展を理解する。
3. データが物理的にどのように格納され、どのようにアクセスされるかの基礎を理解する。
4. 基本的なファイル編成技術の基礎を理解する。
5. より広範なシステム分析および設計の文脈において、情報要求仕様プロセスを適用する。
6. ある企業ドメインの情報要求を取り出すために、一つ以上の概念データモデリング手法（ER モデリングなど）を使う。
7. データ/情報モデリングとプロセスモデリングの結果を相互に結び付ける。
8. 高品質のリレーショナルデータベースを設計する。
9. リレーショナルデータベースの構造を正規化する目的と原理を理解する。
10. 少なくとも第三正規形（3NF）になるようにリレーショナルデータベースを設計する。
11. データ型の選択や索引づけの原則も含めて、業務用 DBMS を使ってリレーショナルデータベースを実装する。
12. 広く使用されている SQL 言語を一つ取り上げて、SQL のコンポーネントであるデータ定義・操作・制御言語を使う。
13. 簡単なデータベース管理タスクを実行する。
14. データベーストランザクションの概念を理解し、想定したアプリケーションに適切に適用する。
15. さまざまなアプリケーション開発環境からリレーショナルデータベースにアクセスするための基本的なメカニズムを理解する。
16. 企業情報システムにおけるデータベースと DBMS の役割を理解する。
17. データセキュリティの重要な原則を理解し、DBMS の設計におけるデータセキュリティのリスクと違反を特定する。
18. 組織におけるデータ品質と、その応用の中心的概念を理解する。
19. オンライントランザクション処理（OLTP）とオンライン分析処理（OLAP）の違い、およびこれらの概念とビジネスインテリジェンス、データウェアハウス、データマイニングの関係を理解する。
20. 簡単なデータウェアハウス（「データマート」）を作る。

21. 構造化、半構造化、および非構造化されたデータが、いかに企業情報とナレッジマネジメントの必須要素であるかを理解する。ここでは、企業内検索の原理を学ぶ。

【LU 例】

LU ID	タイトル	教育目的	学習目標
0126	データベース用語と概念	組織のデータベースの概念、構成要素、構造、アクセス、セキュリティおよび管理の考え方について説明すること。	リレーショナルデータベースの専門用語と使い方について説明できる。 ----- 組織のデータベースにアクセスするために必要な概念を説明できる。 ----- 組織のリポジトリからデータを問合せるためにデータベースアクセスの設備を利用できる。
0410	データベースの動作原理	リレーショナルデータベースの理論および基本的動作原理を理解してもらうこと。	関係データモデルの特徴を説明できる。 ----- DBMS とアプリケーションの関係を説明できる。 ----- RDB の専門用語を説明できる。 ----- 概念モデリングの結果が、3NF または BCNF に相当していることが分かる。 ----- 関係演算の意味を説明できる。
0213	DBMS の役割と機能	データベースマネジメントシステムの役割と基本的な機能を理解させること。	DBMS の役割、基本的な機能について説明できる。
0132	簡単なデータベースの設計	リレーショナルデータベースのパッケージを使用するために、目的	テーブル、関係、参照の一貫性、正規形の概念について説明できる。

		や開発について説明すること。	<p>ワークフロー図または他の要求文書から、簡単なマルチテーブルのデータベースを設計できる。</p> <p>リレーショナルデータベースのパッケージを用いてテーブルを実装し、データを探すために幾つかの簡単な問合せができる。</p>
0214	リレーショナルデータベースの基礎	リレーショナル・データベースの基礎知識を理解させること。	リレーショナル・データベースの基本的な概念を説明できる。
0411	データベース管理システムの定義と操作	RDBMS のスキーマ定義およびデータ操作ができるようにすること。	<p>リレーショナルデータベースのスキーマ設計ができる。</p> <p>RDBMS 製品を使って、スキーマ定義が行える。</p> <p>RDBMS 製品を使って簡単な照会が行える。</p> <p>RDBMS 製品を使ってデータの更新ができる。</p>
0215	SQL の基礎	SQL を使った簡単な実習を行い、使い方を理解させること。	<p>SQL の基本的な概念を説明できる。</p> <p>SQL を使ってデータベースの基本的な問い合わせができる。</p>
0412	トランザクション管理の原理	トランザクション管理の原理を説明すること。	<p>トランザクションの特性 ACID を説明できる。</p> <p>排他制御の原理と commit の意味を説明できる。</p> <p>データベースの障害回復の方法について説明できる。</p>
0216	データモデルの基礎	データモデルと表現方法について詳細に説明すること。	データモデルの概念を説明できる。

			リレーショナル・データベースで扱うデータモデルの表現方法を理解し、簡単なモデル作成ができる。
0415	NoSQL	関係モデル型でないデータベースの必要性和それぞれの特長について説明ができる。	非リレーショナル型のDBMSについて、どのようなトレードオフがあるか述べられる。

IS 2010.3 エンタープライズアーキテクチャ

【コースの学習目標】

1. エンタープライズアーキテクチャの分析と意思決定のためのさまざまなフレームワークを理解する。
2. アーキテクチャ候補ごとに総所有コスト（TCO）と投資収益率（ROI）を評価する。
3. 企業のポートフォリオ全体に渡るリスクを評価し、マネージメントするための手法を活用する。
4. 新技術群の統合性を評価し、計画する。
5. 仮想化と監視の使用、電源と冷却の問題を含めて、システム管理を検討する。
6. 急激に拡大するコンテンツの種類と量を適切に扱う。
7. データ/情報アーキテクチャの中心概念を理解し、既存のデータ/情報アーキテクチャ設計を評価する。
8. ビジネスの継続性を計画する。
9. サービス指向アーキテクチャ（SOA）の利点とリスクを理解する。
10. エンタープライズアーキテクチャにおける監査とコンプライアンスの役割を理解する。
11. サプライヤ、政府などの組織間で企業情報システムの統合性を理解する。

【LU 例】

LU ID	タイトル	教育目的	学習目標
04C1	企業情報システムの中長期的計画	企業情報システムの発展を構想し、中長期的な観点で全体最適化を図ることの重要性を提示する。	中長期的視点で、企業情報システムの最適化の重要性を説明できる。 ----- EAの参照モデルを例示できる。
2401	エンタプライズ情報システムの構造	ITによって実現される企業情報システムの構造を理解させる。	業務や経営の目的を達成するための仕事の手順であるビジネスプロセスを支援するエンタプライズ情報システムは、以下の3階層で成り立っていることを説明できる。 また、各階層における働きを説明できる。 <ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーション ・プラットフォーム ・インフラストラクチャ
2404	ビジネスアーキテクチャ	ビジネスアーキテクチャをモデリングできるようにする。	エンタープライズレベルのビジネスアーキテクチャをどのように把握し、それを情報システムの概念レベルのデータ構造として表現する概念データモデリングを行えるようになる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ビジネスアーキテクチャの概念と作成法を理解する。 ・概念データモデリングの作成法を理解する。
2407	システム・インテグレーション	情報システム開発における様々な要素を統合する監理について理解させる。	情報システム開発に関与する様々なステークホルダー間の取引構造を知る。

2409	IT 制御・管理 フレームワーク	IT サービスマネジメントにおける業界の「ベストプラクティス集（成功事例）」を文章化したフレームワークである ITIL を理解させる。	IT はビジネス上不可欠となっている反面、運用を誤ると企業にとって重大なリスクにもなりえる。このため、ビジネス戦略を実現させるため、なおかつリスクを最小限にするために、本来あるべき姿の IT 運用を目指すために以下のことを理解する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 構成管理の徹底 ・ 障害管理の手順化 ・ サービスデスクの充実化 ・ 運用業務のベンチマークとしての活用 ・ 運用サービス部門としてのサービスメニュー、サービスレベルを明確化し、その業務プロセスを定義 ・ 費用対効果を重視したキャパシティ管理
0161	IT 使用の展開	組織のバリューチェーンやサプライチェーン概念、および伝統的な経営活動の特徴とインターネット技術を用いた経営活動の発展の違いを説明すること。	組織のバリューチェーンやサプライチェーンの概念を説明できる。 ----- 伝統的な組織とインターネット技術を用いて展開している組織の違いを説明できる。
2406	サービス指向アーキテクチャ	大規模なコンピュータ・システムを構築する際の概念あるいは手法の一つであるサービス指向アーキテクチャ（SOA）を理解させる。	システム・オブ・システムの要求をまとめる上で現れる問題を列挙できる。

2412	グリーン IT	環境配慮の原則を IT に適用することを理解させる。	グリーン IT は、環境配慮の原則を IT に適用したものであることを理解する。 ・ IT を活用して省資源、省エネルギーを実現することを学ぶ。 ・ IT 自体の省資源化、省エネルギー化を実現することを学ぶ。
0110	モデルと I S に関する組織的な関係	組織の他のモデルと情報システムとの関係を示すこと。	情報システムの分析と開発のために、一般システム理論を如何に適用できるかについて議論することができる。
2410	ビジネス継続	災害や事故に遭遇してもビジネスを継続することの重要性を理解させる。	災害などの緊急事態が発生したときに企業が損害を最小限に抑え、事業の継続や復旧を図るための計画である事業継続計画を学ぶ。
2411	監査と法令順守	コーポレートガバナンスの基本原理の一つで企業コンプライアンスとその監査を理解させる。	企業が法律や内規などのごく基本的なルールに従って活動する事、またはそうした概念を指すコーポレートガバナンスの基本原理の一つである企業コンプライアンスの重要性を学び、その監査についてを学ぶ。

IS 2010.4 IS プロジェクトマネジメント

【コースの学習目標】

1. 情報システムプロジェクトを開始、指定、優先順位付け、これらのプロジェクトの実現可能性のさまざまな側面を決定する。
2. 現代の組織におけるプロジェクトマネジメントの定義、範囲、および必要性を含む、プロジェクトマネジメントの基礎を理解する。
3. プロジェクトマネジメントライフサイクルの各段階を理解する。
4. リーダーシップとチームモチベーションの基礎を含むプロジェクトチームのマネジメントを行う。

5. チーム内部でも、外部の他のプロジェクト関係者へでも、プロジェクトコミュニケーションをマネジメントする。
6. プロジェクトの選択やプロジェクトスコープの定義など、プロジェクトを開始する。
7. 適切な技術とツールを使用してプロジェクトのスケジュールをマネジメントする。
8. 人材、資本設備、時間などのプロジェクトリソースをマネジメントする。
9. プロジェクトの品質に対する脅威の識別、プロジェクトの品質を測定する技術、プロジェクトの品質を保証する技術など、プロジェクトの品質をマネジメントする。
10. プロジェクトリスクの識別、プロジェクトリスクの確実な管理などのプロジェクトリスクをマネジメントする。
11. 外部調達および外部調達の理解、外部調達のマネジメント手順など、プロジェクト調達プロセスをマネジメントする。
12. プロジェクトの進行状況を監視し、プロジェクトの変更をマネジメントし、プロジェクトの状態を適切に文書化し、伝達するなど、プロジェクトの実行をマネジメントする。
13. 情報の追跡とコストと変更管理の手法によりプロジェクトをコントロールする。
14. プロジェクトを終結する。これには、管理、人員、および契約終結(contractual closure)を含む。
15. 複雑なプロジェクトにおける法的問題に対処する仕組みを理解する。
16. 組織内のグローバルチームと協力して、またはオフショアアウトソーサーを従事させることで、民族文化の違いを正しく理解する。

【LU 例】

LU ID	タイトル	教育目的	学習目標
0710	システム開発プロジェクトの管理	情報システム開発プロジェクトの特徴を理解させ、プロジェクト管理の必要性について考察させること。	プロジェクトマネジャーの役割を説明できる。 ----- プロジェクト管理の管理対象とその管理方法を説明できる。
0442	プロジェクト管理の基礎	プロジェクト管理の基本的概念を理解させること。	プロジェクト管理の基本用語および管理対象を説明できる。 ----- プロジェクトの進捗評価技法を知っている。

			要求の変更管理の重要性を説明できる。
0445	プロジェクトファシリテーション	プロジェクト遂行のためのチームワークを構築させること。	プロジェクトにおけるリーダーシップの重要性を知っている。 プロジェクトファシリテーションとツールを知っている。
0444	プロジェクト計画書	簡単なプロジェクト計画書を書けるようにすること。	スコープの定義とその検収条件を記述できる。 作業定義と所要時間の見積もりに基づいて、スケジュールできる。 コストの見積もりができる。 プロジェクトの工程設計ができる。 品質計画を立て、検査の計画が立てられる。 チームの組織計画と投入計画が立てられる。 進捗の評価と報告ができる。 機器、要員の調達計画が立てられる。 プロジェクト計画を評価し改善を指示できる。
1715	PMのICT活用	プロジェクトマネジメントにおけるICT活用を理解すること。	プロジェクトマネジメントシステム(PMS)の主要機能、役割を理解できる。 MS-Project、Open-Projなどの利用を通して、その効果を理解できる。
0206	品質マネジメント	品質マネジメントの意義を理解させるとともに、関連する手法を理解できるようにすること。	品質マネジメントの意義を説明できる。 品質マネジメントの手法を理解し、適用できる。

0446	プロジェクトにおけるリスク管理	プロジェクトの状態を把握し、適切に対処させること。	進捗管理手法を知っている。 ----- プロジェクト進捗における課題を推定できる。 ----- リスクの評価と対応策が立てられる。 ----- プロジェクトの課題に対する適切な対応案を述べられる。
1714	ステークホルダー・マネジメント	プロジェクト成功へのステークホルダーの重要性を理解し、そのマネジメント手法を使えるようにすること。	ステークホルダー特定、ステークホルダーマネジメント計画、ステークホルダー・エンゲージメントマネジメント、ステークホルダー・エンゲージメントコントロールを理解し、説明できる。
0205	コスト・マネジメント	コスト・マネジメントの意義を理解させるとともに、関連する手法を使えるようにすること。	コスト・マネジメントの意義を説明できる。 ----- コスト・マネジメントの手法を理解し、適用できる。
3001	プロジェクト活動における異文化理解	民族文化の差異が組織内外のグローバルチームにおけるプロジェクト活動に与える影響を理解してもらうこと。	

IS 2010.5 IT インフラストラクチャ

【コースの学習目標】

1. コンピューティングソリューションにおけるデータ表現と操作の重要な原則を理解する。
2. 階層化システムアーキテクチャの基礎となる原理を理解し、階層化システムアーキテクチャのコンピュータとネットワークへの適用を理解する。

3. IT インフラストラクチャソリューションのコア要素であるクライアント、サーバー、ネットワークデバイス、有線および無線のネットワークリンク、システムソフトウェア、特殊なセキュリティデバイスなどの相違点と類似点を理解する。
4. IT インフラストラクチャコンポーネントをさまざまな組織環境でインフラストラクチャソリューションに組織する方法を理解する。
5. サービス仮想化の根底にある原則を理解する。
6. 相互に接続されたコンピューティングデバイス間の通信を可能にするためにプロトコルがどのように使用されるかを实际的な例を通して理解する。
7. 標準技術のコンポーネント、サーバー、セキュリティデバイス、および数種類のコンピューティングクライアントに基づいたネットワークを含む、小規模組織向けの IT インフラストラクチャソリューションを構成する。
8. IP サブネット化を含む簡単なネットワーク設計の問題を解決するために、IP ネットワークの根底にある基本概念を適用する。
9. IT インフラストラクチャコンポーネントとしてのインターネットの役割と構造を理解し、インターネットの使用に基づいた簡単なインフラストラクチャソリューションを設計する。
10. 大規模な組織の IT インフラストラクチャソリューションのコンポーネントと構造を効果的に使用できるレベルで理解する。
11. 大規模組織 IT インフラストラクチャソリューションのマネージメントにおける IT コントロールおよびサービスマネージメントフレームワークの役割を理解する。
12. 設計と実装のソリューションを提供するベンダーと交渉する。
13. クラウドコンピューティングなどの仮想コンピューティングサービスプロビジョニングモデルが組織のために作成する機会を理解する。
14. IT インフラストラクチャ設計ソリューションのセキュリティおよびビジネス継続性への影響を分析し、理解する。
15. 単純なインフラストラクチャセキュリティソリューションを構成する。
16. IT インフラストラクチャの決定による環境およびリソース消費の影響を最小限に抑える。

【LU 例】

LU ID	タイトル	教育目的	学習目標
1104	通信ネットワークの標準及び標準化組織	通信ネットワークの標準，標準化団体とその標準に慣れ親しませること。	標準の役割，標準化団体とその標準の役割を，ローカルからグローバルまでの通信ネットワークを実現するためのまとめ役として理解し説明できる。 ----- 通信ネットワークに関連するデータのデジタル符号化を説明できる。
1106	通信ネットワークのアーキテクチャ，トポロジ，プロトコル	通信ネットワークのアーキテクチャ，トポロジ，プロトコルを示すことができるようにすること。	ISO モデルの各層の機能について理解し説明できる。 ----- ISO モデルの各層の機能での通信機械間における「仮想的な」通信の概念を説明できる。 ----- 通信ネットワークシステムに対する共通のトポロジ，実現方法及びその問題点を理解し説明できる。 ----- ビット及びバイトのプロトコルの構造と命令を理解し説明できる。 ----- 通信ネットワークサービスを議論し，ISO モデルの特定の実現を分析できる。 ----- ISO モデルと TCP/IP モデルを比較し説明できる。
1011	通信機器のハードウェア／ソフトウェア	コンピュータと通信機器の基本的な特徴と構成要素およびシステムソフトウェアをシステム用語で説明し、要	システムズアプローチを使って、通信システムのハードウェア/ソフトウェアの各要素を説明し、各要素間の相互関係の本質を図式化して議論できる。通信システムの目的、期待と品質について、シス

		素の相互関係を明らかにすること	テム用語を用いて説明し、各要素が合目的的にどのように動作しているかを説明できる。
1122	ネットワークセキュリティ	ネットワークに関連するセキュリティについて理解させること。	<p>ネットワーク、OS、サーバ、データベースの脆弱性について理解し、ウイルス、ワームがどの脆弱性を狙ってくるのか説明できる。</p> <p>ネットワークセキュリティを守るための仕組み（ファイアウォール、侵入検知システム、VPN など）について理解し、説明できる。</p> <p>公開鍵暗号の原理を共通鍵暗号との対比で理解し説明できる。公開鍵暗号を利用した様々なアプリケーション（SSL、電子署名など）を例示できる。</p>
1123	Web 技術の基礎	Web の基本技術、標準化団体について理解させること。	<p>World Wide Web の構造を理解し、それを表現する言語としての HTML (XHTML)、資源を特定する記述としての URI を説明できる。</p> <p>Web におけるサーバとクライアントの役割について理解し、クライアントサーバ間の情報のやりとりとしての HTTP の説明ができる。</p> <p>Web に関連する標準規格にどのようなものがあるのか知り、標準化団体として W3C について議論できる。</p>
1103	通信ネットワークの経済性	通信ネットワークの経済性、設計及び管理に	特定のハードウェア及びソフトウェア構成要素を含む通信ネットワ

	及び設計に関する問題	関連する問題点を探求させること。	ークシステムを分析し設定するステップを説明できる。 相互接続システムにおける各種中継装置の目的を説明できる。
1633	IT インフラの運用管理	IT インフラの運用方法を理解する。	IT インフラの運用段階で、オペレーション、監視、インシデント対応、トラブル対応、ヘルプ対応等、日々の業務を理解する。 ITIL に記述された、運用管理のベストプラクティスを理解する。
1632	適用技術、製品の選定	情報インフラの要素製品、技術の導入方法を理解する。	IT インフラを構築するために必要な、機器や技術をどのような観点で、どのようなプロセス（調査、評価、交渉、購入、検収等）を経て導入するかを理解する。 IT インフラに関わる業務機能（コンサル、販売、ソリューション、保守、サービス）と、典型的なベンダ間の関係を理解する。
1641	クラウドコンピューティング	クラウドの特徴を理解する。	IaaS、PaaS、SaaS の特徴、違いを説明できる。オンプロミスな構成と比較して、そのメリット、デメリットを説明できる。 著名なクラウドサービスとその特徴が理解できる。OpenStack 等のオープンソースベースのクラウド構築技術を理解する。
1621	IT インフラによる可用性の向上技術	ネットワーク、ストレージの冗長設計を理解する。	ビジネス継続のために IT インフラの可用性の向上の必要性を理解する。

			ネットワーク、サーバ機、ストレージを組み合わせた冗長構成の必要性と、典型的な冗長構成（ホットスタンバイ、マルチリンク、マルチルート、RAID 等）を理解する。
--	--	--	---

IS 2010.6 システム分析および設計

【コースの学習目標】

1. 情報技術ベースのソリューションを使用して対処できるビジネスニーズのタイプを理解する。
2. 情報システムプロジェクトの開始、特定、優先順位付け、およびこれらのプロジェクトの実現可能性のさまざまな側面の決定。
3. プロジェクトを開始する問題、機会、または権限を明確に定義する。
4. ビジネス状況（問題または機会）の分析と、形式的な技法によるモデリングと、ビジネスが実施される方法で生産的な変革を可能にするシステムへの要求仕様の作成に対して、少なくとも一つの特定の方法論を使用する。
5. 学生が学ぶ方法論の文脈の中で、明確かつ簡潔なビジネス要求文書を作成し、それらを技術仕様書に変換する。
6. さまざまな技術を使用して情報を収集するために、また提案されたソリューション特性をステークホルダーに伝えるために、さまざまな組織のステークホルダーと効果的にコミュニケーションをとる。
7. 確立されたプロジェクトマネジメント方法を使用して情報システムプロジェクトをマネジメントする。
8. パッケージシステム（ERP、CRM、SCM など）の使用、設計および開発リソースの委託を含む、さまざまなシステム調達の実施方法を明確にする。
9. プロセスおよびデータモデリングに使用するために、現在使われている CASE ツールを使用する。
10. 調達の実施方法を体系的に比較する。
11. システム開発プロセスの初めから、高いレベルのセキュリティとユーザーエクスペリエンスにつながる原則を組み込む。

12. 高水準の論理システム特性（ユーザーインターフェース設計、データおよび情報要件の設計）を設計する。
13. 代替的なソリューションの中で倫理的、文化的、法的な問題とその可能性を分析し明確にする。

【LU 例】

LU ID	タイトル	教育目的	学習目標
1314	コンピュータ活用ビジネスの理解	情報技術ベースのソリューションをいかしたビジネスについて理解させること。	ビジネス活動における技術の役割について理解できる。
0703	システム開発プロセスとコンセプトオブペレーション	情報システムの開発プロセスとライフサイクルモデルについて理解させること。	<p>情報システムの開発プロセスとライフサイクルモデルについて説明できる。</p> <p>情報システム開発の各プロセスで行うべき作業の内容と、作成すべきドキュメントについて説明できる。</p>
0706	情報システムの分析と設計	業務プロセスの分析とモデル化の方法を習得させること。	<p>業務プロセスをモデル化し、図式表現（DFD/UML）することができる。</p> <p>業務改善を提案し、機能、性能、信頼性に関する要求仕様をまとめる事ができる。</p>
1030	システム視点の検証と検定	システム視点からの検証、検定方法を提示すること。	<p>検証と検定のプロセスを説明できる。</p> <p>手続き指向および（/または）オブジェクト表記の双方に対して、手作業のリエンジニアリングでコードの検証ができる。</p>

0142	I S 製品の実現	情報システムを実装するために、市販されているプログラム製品を比較し使用する機会を示すこと。	<p>パッケージをそのまま使う、カスタマイズする、モジュールを付加する、ユニークなアプリケーションを構築する、別のアプローチを示す、ことなどができる。</p> <p>-----</p> <p>コンピュータハードとソフトを入手する考え方を説明できる。</p> <p>-----</p> <p>見積要求や契約を行うプロセスを説明できる。</p> <p>-----</p> <p>契約締結のフェーズを説明し、各種の契約の具体例を書くことができる。</p>
0134	プロトタイプングによる I S 開発	プロトタイプ・プロセスについて説明し、開発ツールを利用してアプリケーションプロトタイプに評価と改良を適用すること。	<p>終了に際して、要求事項とアプリケーションの性能を比較できる。</p> <p>-----</p> <p>アプリケーションの検証プロセスで、別の結果と識別できる。</p> <p>-----</p> <p>プロトタイプ適用ソフトにおけるエラーの可能性や結果について評価できる。</p> <p>-----</p> <p>プロトタイプを改良するために、入力、出力、及び処理の修正ができる。</p>
0144	I S 設計と実装方法の検討	論理設計をする方法、それを実装する方法、更にそれらを比較分析する方法などを示すこと。	市販のツールなどを使用して上流のドキュメントを作成することができる。
0145	上流における UX の評価	高いユーザーエクスペリエンスにつながる、上流工程のやり方を理解できるようにすること。	情報システムを短期間に開発するためにラピッドプロトタイプング、またはそれと類似のメカニズムを使用できる。

0497	ユースケース設計	ユースケースを使った機能設計ができるようにすること。	機能とは何かを説明できる。 ----- 機能要求をユースケースの形式で表記できる。 ----- ユースケース記述が相互に漏れや矛盾がないことを確認できる。
9001	システムレベルのグローバルイゼーション	倫理的、文化的、法的な問題とその可能性を分析し明確にする。	

IS 2010.7 IS 戦略、マネジメント、獲得

【コースの学習目標】

1. IT マネージメントと CIO の役割、組織内の IS マネージメントの構造化、企業内の IS 専門家のマネージメントなど、情報システム領域内のさまざまな業務機能とアクティビティを理解する。
2. 非 IT 部門の上級管理職の視点から、情報システムがどのように中核的かつ支援的なビジネスプロセスを可能にするか、そしてサプライヤーや顧客との連携を可能にするかを見る。
3. 企業レベルでの情報経済学の概念を理解する。
4. どのように IS が企業にとって競争優位の主要な源泉であるかを理解する。
5. 社内外の IS のビジネス価値を最大限に引き出すための IS 関連活動を構築する。
6. 既存および新興の情報技術を理解し、IS の機能とそれが組織の業務に及ぼす影響を理解する。
7. 企業に IS をうまく組み込んだり失敗したりすることに関連する問題と課題を評価する。
8. さまざまな調達オプションを評価する能力を含む、IS のリソースと能力の獲得に関する戦略的決定がどのように行われるかを理解する。
9. 授業をとおして得た情報を様々な産業や分野（領域）に応用する
10. 組織の IS 機能をマネジメントする観点から、IT コントロールおよびサービスマネジメントフレームワークの役割を理解する。

【LU 例】

LU ID	タイトル	教育目的	学習目標
1631	情報システムのガバナンス、コンプライアンス	情報システムのガバナンス、コンプライアンスを理解する。	ITIL、COBIT 等の IT の制御、管理用のフレームワークの意義、概要を理解する。
0421	利害関係者要求定義	施主が組織の問題を解決するにあたって、利害関係者と問題の解決状態を共有することの重要性を理解する。	組織の問題には利害関係者ごとに異なる視点がありうることを説明できる。
2413	ヒューマン・リソース・マネジメント	人的資源の管理について理解させる。	採用、配置、動機付け、報酬体系の設計、組織設計、組織開発、教育・訓練、福利厚生、労使関係、ダイバーシティなど管理的な機能と開発的な機能が総合的に含有された考え方を学び、そのための情報システムの開発と運用を考えられるようになる。
0102	戦略的要素としての I S	情報システムが如何に戦略的であるか、組織の重要な要素であるかを示すこと。	<p>情報システム分野の歴史的発展について記述できる。</p> <p>組織における情報システムの戦略的役割を説明できる。</p> <p>競争力を高める情報システム活動の戦略性について説明できる。</p> <p>戦略的、戦術的、業務的なレベルで、複数のアプリケーションについて相違を説明できる。</p>
0114	I S の実現とアウトソーシング	アウトソーシングなどによる IS 機能の実現方法について説明し議論すること。	IS 機能のいくつか（又は多く）を外注することの有利と不利、及び外注を要求するか否かについて説明できる。

0153	システムと品質尺度の評価	ライフサイクルの全ての段階における顧客の満足度を測るための品質の尺度を開発することの必要性を理解させること。	ライフサイクルのフェーズ毎に顧客の満足を確認するために、品質の尺度と性能のベンチマークを使用し、開発活動の中でその尺度をテストすることができる。
0422	情報システムの構想	原因除去ではなく、問題状況を解消する新しい理想システムを思い描いたのちに、現実システムとのギャップを認識し、これを埋める方法を構想する手法を提示する。	理想システムを構想することの重要性を説明できる。 理想システムと現実との間のギャップをどう埋められるかを構想できる。
1111	ISにおける新しい技術の管理	新しい技術の管理と移行に関連のある問題点を議論できるようにすること。	効果的なハードウェアとソフトウェアを精査し選択する環境に対する方法を説明し、詳しく述べることができる。 新しい技術の管理を説明できる。
0711	システムトラブルの分析と対策	システム稼働後に発生するシステムトラブルの発生原因の分析と、発生防止策について理解させること。	システムトラブルを発生させる原因についての例示を説明できる。 システムトラブルを発生させる原因ごとに、発生防止策を考察できる。
1635	情報システム部門の業務機能	情報システム部門の業務機能を理解させること。	企業、官庁等、大きな組織の情報システム部門の業務機能を理解する。

2.5. IS カリキュラムの実施の考え方

J17-IS (IS 2010) を利用して各教育プログラムで IS 教育を実施するためには、次のような手順をとることが考えられる。

- ① 対象教育プログラムの性格にあわせて、「当該教育プログラムの対象ドメインの基礎」、「基礎的な知識とスキル」、「IS 固有の知識とスキル」を、どのような科目群で、どのような修得要件で扱うのか決める。
- ② 卒業生に期待する能力に応じて「IS 固有の知識とスキル」の中から、コースの学習目標とその深さを決め、それをどの科目で、どの単位数で教育するか決める。コアをすべて深く学習する必要はなく、また選択科目の中で、当該プログラムで必修と指定することがあっても良い。
- ③ 各科目の教育内容を決める際に、ラーニングユニットを活用する。

2.6. 今後のアップデートについて

情報技術の変革に伴い、IS 教育の具体的な内容が変化している。そのため、LU をダイナミックにアップデートできる仕組みを作ることが重要であると考えている。例えば、LU を公募する、インターネット上の仕組みを用意することが考えられる。

3. ACM/AIS への報告

J17-IS は、IS 2010 を元に、それを実施するための事例として使用できる LU を追加したものである。IS 2002 由来の LU を除き、本 WG が作成した LU、および IS 2002 由来であるが本 WG が現在の情報技術にあわせて修正した LU について、その内容を英訳して報告する。

