

## 2.5.調査 D : 高校教科「情報」

調査 D では、高校教科「情報」の教職課程のうち教科に関する科目（教育職員免許法施行規則第 5 条）および情報機器の操作（教育職員免許法施行規則第 66 条の 6）に対応する科目を調査対象とした。高校教科「情報」の教職課程が学内に複数ある場合は、教職課程ごとに新規の回答者を調査用 Web サイトに登録の上、個別に回答した。

調査対象年度は平成 28 年度とし、特に指示がない限り、調査対象年度における実績に基づいてご回答を求めた。対象組織としては、回答対象の教職課程に対応する大学、学部、学科（または課程）の名称を指定して行った。得られた回答数を表 2.5-1 に示す。

表 2.5-1 調査対象

設置区分	回答数
国立	85
公立	18
私立	235
合計	338

文部科学省の Web ページによると高校教科「情報」1 種免許状を取得可能な課程の設置数は 521（国立 107、公立 17、私立 397）ある。このうち調査 D に回答した課程は国立 75（対象課程の 70.1%）、公立 14（同 82.4%）、私立 251（同 63.2%）、計 340 課程（同 65.3%）であった。履修学生がいない課程に対しては回答を求めなかった。

### 2.5.1. プログラム構成

#### 2.5.1.1. 昼夜別

昼間、夜間、通信制の区分から選択回答を求めた。同一の対象組織が複数の区分の高校教科「情報」の教職課程を提供している場合（例：昼間コースと夜間コースを併設）は、区分毎に新規の回答者を登録の上、個別に回答を収集した。そのため、回答数と課程数は必ずしも一致しない。

表 2.5.1.1-1 昼・夜・通信の区分

回答	度数
昼間	333
夜間	3
通信制	2

#### 2.5.1.2. 必要単位数、開講科目総数、開講クラス数

対象組織が開講している高校教科「情報」の教職課程のうち教科に関する科目（教育職

員免許法施行規則第 5 条) および情報機器の操作 (教育職員免許法施行規則第 66 条の 6) に対応する科目について回答を収集した。その結果を表 2.5.1.2-1 に示す。

表 2.5.1.2-1 必要単位数、開講科目総数、開講クラス数

区分	必要単位数		開講科目総数	開講クラス総数
	必修	選択		
講義科目	20	20	14	14
演習科目	2		1	1
実験科目	2		1	2
実習・実技	2		1	1

### 2.5.1.3. 開講科目の内訳

上記で回答した科目をどのような科目区分で回答しているか、内訳を記入して頂いた。その結果を表 2.5.1.3-1 に示す。

表 2.5.1.3-1 開講科目の内訳

科目区分	科目総数
学科・課程の専門教育科目	1,299
全学の共通科目	322
学部の共通科目	684
その他	307

## 2.5.2. プログラムの教育内容と教育レベル

本節では、プログラムの教育内容と教育レベルの調査結果の概略を示す。

### 2.5.2.1. 領域のエフォート調査

調査用 Excel ファイルにて定義した各領域について、回答に含まれる各レベルの履修者数とレベル値を乗算して合計値を求めた。これらによって、各教育機関が個別の領域および調査項目を教育するために費やしているエフォートを見積もることができる。集計結果を以下の図に示す。これにより、教育機関が注力している領域を概観できる。

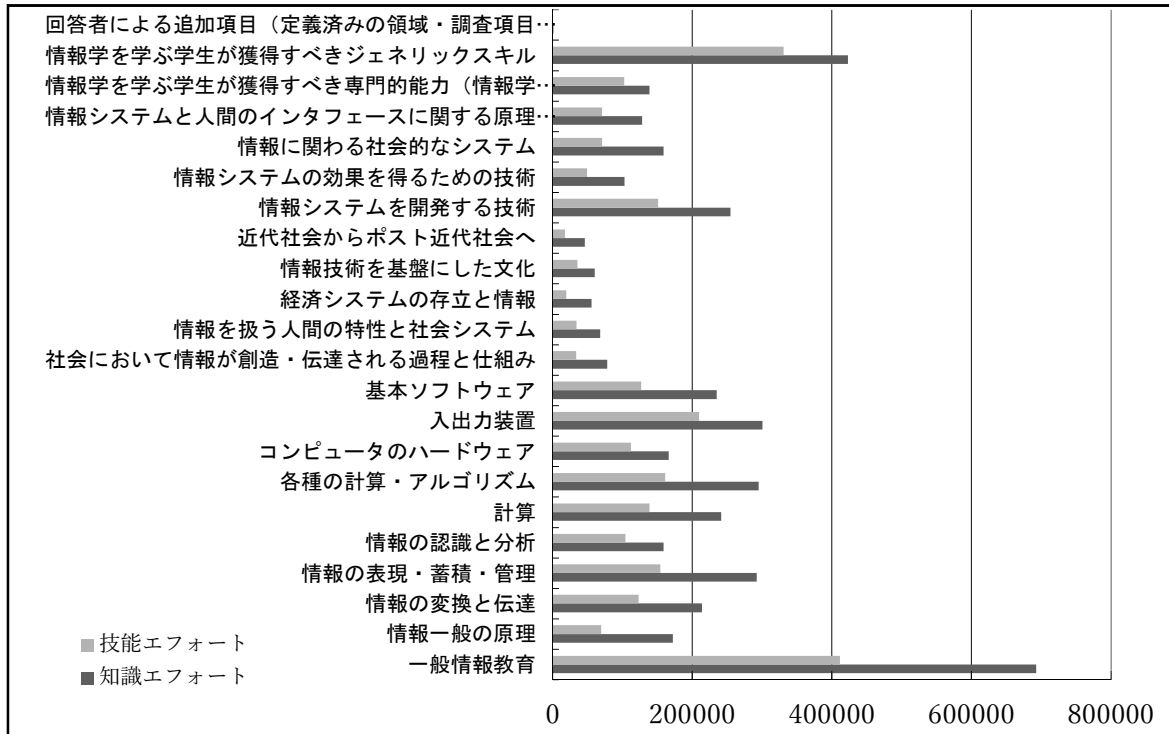


図 2.5.2.1-1 エフォート分布

知識エフォートと技能エフォートには若干の違いがあるが、相関係数を求めると 0.97 となり両者の間には非常に高い相関関係がある。知識エフォートの降順に領域をソートした結果を以下の表に示す。これは、教育機関が認識している領域の重要度に対応すると考えられる。また、「一般情報教育」や「情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル」のエフォート率が高くなっているが、これは、本格的な情報専門教育を担当できる教員の不足や、大学進学率の上昇に伴う、平均的な大学生の学力の相対的な低下が背景にあると推察される。

### 2.5.2.2. 領域の平均達成度レベル

以下の図に領域毎の平均達成度レベルを示す。各領域の平均達成度レベルは、当該領域のエフォート合計値÷履修者総数 (すなわち、履修者数に基づく重み付きのレベル平均値) により算出した (平均達成度レベルの定義により、当該項目についてレベル 1 以上の達成度と回答した教育機関における平均値となっている。何らかの教育を行っている教育機関における平均値であり、調査対象の教育機関すべてに対する平均値ではない点に注意が必要である。)

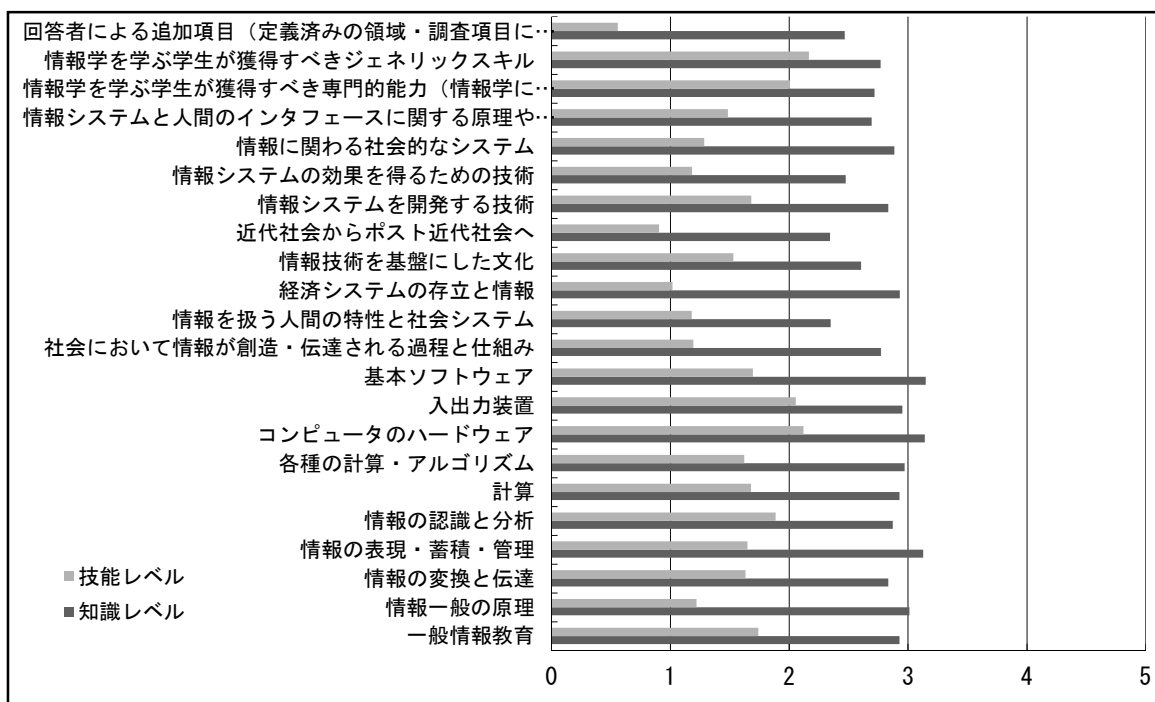


図 2.5.2.2-1 平均達成度レベル

一般情報教育に対するエフォート比率は高いが、平均達成度レベルは、他の領域と比較してもそれほど高いとは言えない。これは、一般情報教育が初年次に教育されるケースが多く、教育の対象者数も多いためである。

「情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル」に対するエフォート比率は大きく、技能に対する平均達成度レベルも他の領域と比較して高い。これは、ジェネリックスキルが卒業研究を含む高学年科目で教育されているケースが多いためである。

### 2.5.3. 教科「情報」教職課程の履修者等

#### 2.5.3.1. 標準対象学年

対象組織における教科「情報」教職課程の標準的な対象学年の分布を図 2.5.3.1-1 に示す。

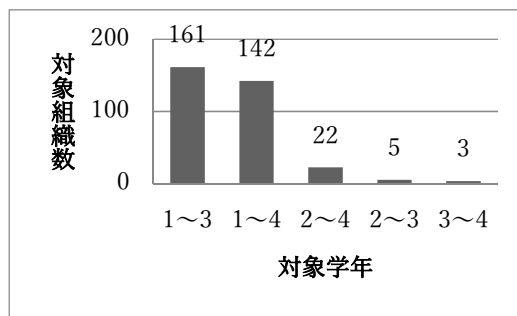


図 2.5.3.1-1 標準対象学年 n=338

### 2.5.3.2. 学生定員

対象組織における1学年の学生定員を収集した。学生定員の合計は20,854である。

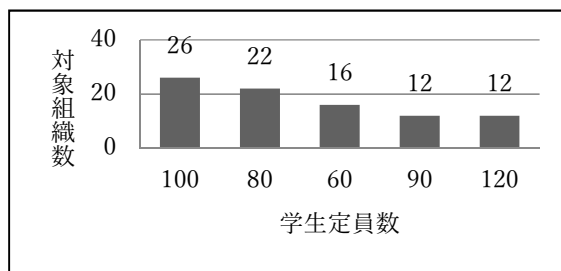


図 2.5.3.2-1 学生定員 n=88

### 2.5.3.3. 教科「情報」教員免許取得者数（男女別）

教科「情報」の教員免許取得者数について、直近3年間の平均実績を収集した。免許取得者の総数は男275名、女94名である。

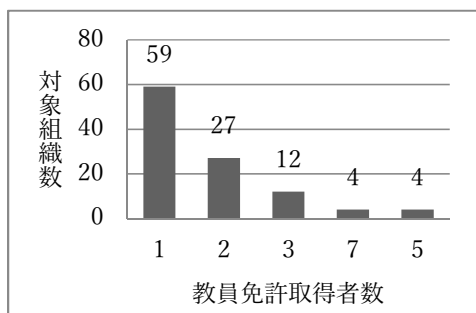


図 2.5.3.3-1 教員免許取得者数（女）

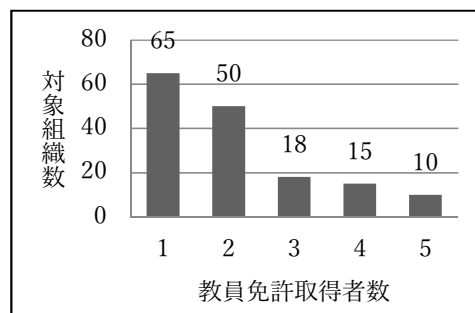


図 2.5.3.3-2 教員免許取得者数（男）

### 2.5.3.4. 教科「情報」教職課程の履修者数（男女別）

1学年当たりの平均履修者数（標準対象学年における履修者数の平均値）を記入するよう求めた。回答の合計は男4,143名、女863名である。

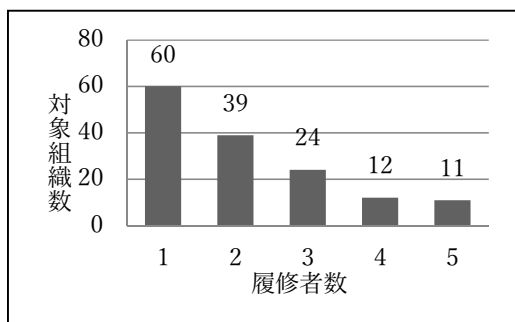


図 2.5.3.4-1 履修者（女）

n=141 履修者総数=868

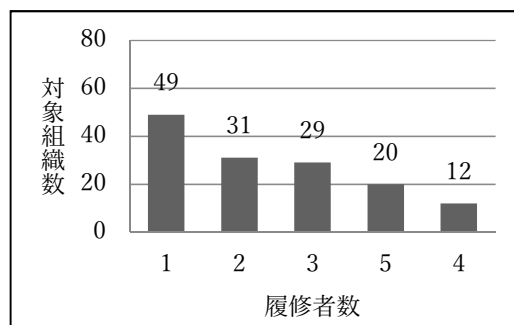


図 2.5.3.4-2 履修者（男）

n=146 履修者総数=4,143

### 2.5.3.5. 卒業生の進路

対象組織の教科「情報」教職課程における平成 27 年度卒業生の進路別人数を、教科「情報」の高校教員（臨時採用を含む）、教科「情報」以外の高校教員（臨時採用を含む）、情報学分野の大学院への進学、情報学以外の分野の大学院への進学、企業・公務員等への就職、その他・不明者の 6 つの区分に従って記入するよう求めた。

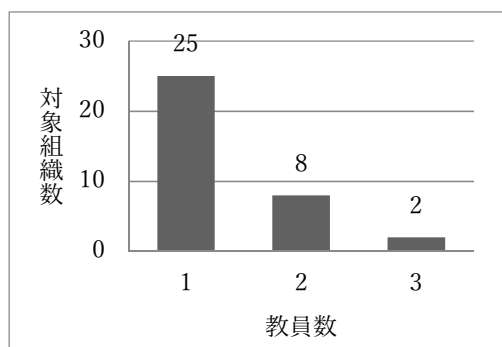


図 2.5.3.5-1 教科「情報」の教員数  
(臨時採用を含む) n=51 総数=198

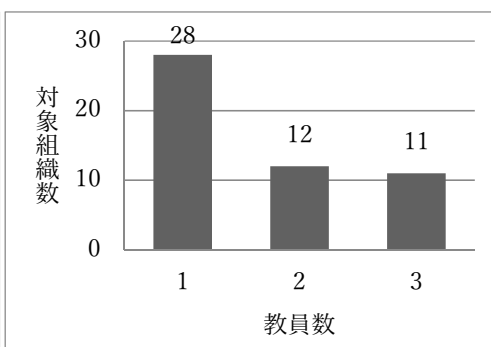


図 2.5.3.5-2 教科「情報」以外の教員数  
(臨時採用を含む) n=35 総数=1290

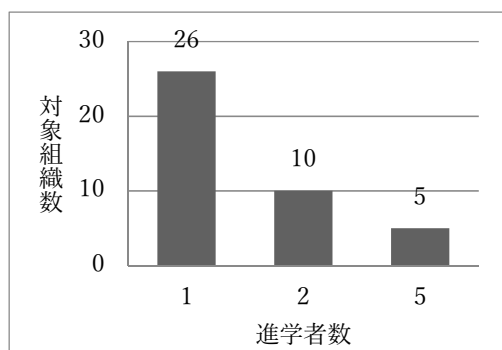


図 2.5.3.5-3 大学院進学者数  
(情報学分野) n=34 総数=1,803

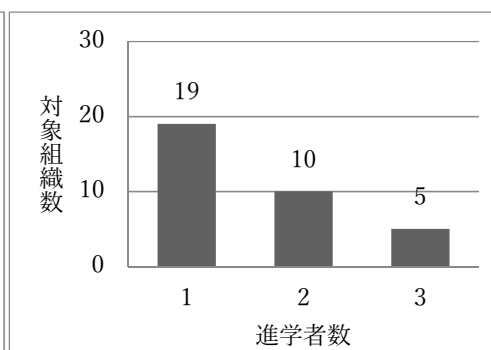


図 2.5.3.5-4 大学院進学者数  
(情報学以外) n=41 総数=1,370

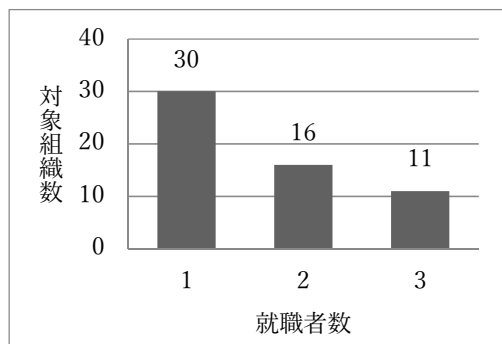


図 2.5.3.5-5 企業・公務員等への就職者数  
n=52 総数=11,371

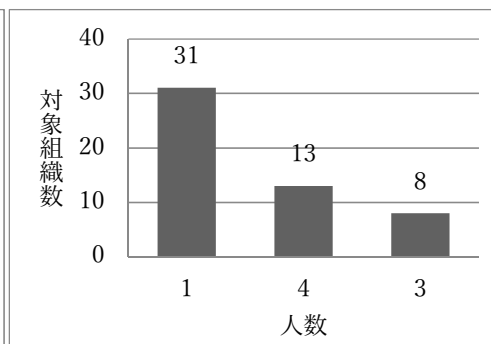


図 2.5.3.5-6 その他・不明者の人数  
n=57 総数=1,332

図 2.5.3.5-1 から図 2.5.3.5-6 までの卒業生の各進路の総計は、表 2.5.3.5-1 のようになる。臨時採用を含む教科「情報」の教員として就職した学生は合計 198 名に留まった。一方、教科「情報」以外の教員として就職した学生は 1,290 名にのぼる。また、大学院進学者は 3,173 名、就職者数は 11,371 名であり、教科「情報」の教員はほとんど出ていない。

表 2.5.3.5-1 卒業生の進路

卒業生の進路	総数（人）	比率
教科「情報」の教員数	198	1.1%
教科「情報」以外の教員数	1,290	7.4%
情報学分野の大学院への進学者数	1,803	10.4%
情報学以外の分野の大学院への進学者数	1,370	7.9%
企業・公務員等への就職者数	11,371	65.5%
その他・不明者の人数	1,332	7.7%
合計	17,364	100.0%

## 2.5.4. 教科「情報」教職課程の担当者・補助者

### 2.5.4.1. 授業担当教員

対象組織における教科「情報」教職課程において、科目の授業担当教員に関する調査結果を表 2.5.4.1-1 にまとめる。

表 2.5.4.1-1 教科「情報」教職課程の担当者・補助者の総人数及び担当クラス数

教員種別	総人数	情報学分野の専門学科を卒業した教員数	現在の専門分野が情報学の教員数	担当クラス総数
任期なし専任教員（教授、准教授、講師、助教）	319	214	241	250
任期付き専任教員	104	52	74	95
併任・兼任教員（学内教員）	130	74	86	120
非常勤講師（学外）	231	140	166	218

### 2.5.4.2. 授業補助者

授業補助職員（助手、技術職員等）の延べ人数は、授業補助職員が支援している科目（項目 2.5.1.2 で挙げた対象科目のみ）毎に担当人数を求め、その総和を表 2.5.4.2-1 に示す。また、TA（授業補助学生）の雇用実績を表 2.5.4.2-2 に示す。

表 2.5.4.2-1 授業補助者数及び支援科目総数

種別	延べ人数	支援科目総数
授業補助職員（助手、技術職員等）	52 名	47 科目

表 2.5.4.2-2 授業補助学生及び支援科目総数

種別	雇用実績	支援科目総数
TA（授業補助学生）	168,037 人・時	2,242 科目

## 2.5.5. 教科「情報」教職課程の教育環境

### 2.5.5.1. 教育用電子計算機

教育プログラムが利用している教育用電子計算機システムについて、以下の選択肢から最も近いもの 1 つを選択回答するように指示した。

表 2.5.5.1-1 教育用電子計算機システムの利用数

選択肢	回答数
全学の教育用計算機システムを共同利用	113
キャンパスの教育用計算機システムを共同利用	39
学部の教育用計算機システムを共同利用	22
学科の教育用計算機システムを利用	47
学内に教育用計算機システムはあるが、利用していない	11
学内に利用できる教育用計算機システムがない	106

### 2.5.5.2. 学生 PC

学生所持 PC の活用状況を以下から選択回答するよう指示した。

表 2.5.5.2-1 学生所持 PC の利活用数

選択肢	回答数
全学で購入/所持を義務化して授業で利用	25
学部で購入/所持を義務化して授業で利用	24
学科等で購入/所持を義務化して授業で利用	20
学科等で購入/所持を推奨	25
購入・所持は任意	244

### 2.5.5.3. 教育用言語

- 学生の達成度レベルが高いプログラミング言語を第 1 位から順に回答するように求めた。なお、単に授業で紹介しているだけでなく、学生が、その言語で書かれた簡単な



プログラムを理解できる以上のレベルに到達している場合に回答を求めた。表 2.5.5.3-1 および 2.5.5.3-2 には度数の大きい回答を 5 つ取り出して示す。

表 2.5.5.3-1 プログラミング言語  
(第 1 位)

回答	度数
C	153
Java	107
Visual Basic/VBA	38
C++	14
JavaScript	13

表 2.5.5.3-2 プログラミング言語  
(第 2 位)

回答	度数
Java	57
C	19
C++	17
JavaScript	10
Visual Basic/VBA	10

## 2.5.6. 自由記述欄（記入は任意）

### 2.5.6.1. 将来計画

改組、組織再編またはカリキュラム改訂等の予定を回答可能な場合には記入するよう求めた。

- 平成 31 年度の学士課程学位プログラム化に伴いカリキュラムの大幅な刷新を行う予定
- 平成 30 年に数学系の「数理システム課程」を廃止する。なお、生命環境科学域理学類に数理科学課程を設ける
- 平成 28 年度に改組し、「情報」の教職課程を取り下げた（合計 53 回答）

### 2.5.6.2. アピール事項

情報教育関係のアピール事項があれば記入するよう求めた。

- 本学科では、数学教諭 1 種免許状および情報教諭 1 種免許状の両方の免許状を取得可能なカリキュラムを提供している
- JABEE 認定を取得している
- アクティブラーニングを重視した授業を推進（合計 44 回答）

### 2.5.6.3. 情報系資格との連携

該当事例があれば記入するよう求めた。

- 日商 PC 検定（データ）3 級、IT パスポート（国家試験）を推奨
- 情報処理技術者試験を取得推奨

- ネットワークスペシャリスト、CCNA、Web クリエイター、LPIC 等の資格対策を意識したカリキュラム構成 (合計 42 回答)

## 2.5.7 調査 D まとめ

調査 D を通じて判明した知見を以下に挙げる。5～7 に挙げた問題の解決に向けた取り組みが今後重要と考えられる。

1. 調査 D 「教科『情報』」に対しては 338 件の回答があった。高校教科「情報」1 種免許状を取得可能な課程のうち調査 D に回答した課程は、国立 75 (対象課程の 70.1%)、公立 14 (同 82.4%)、私立 251 (同 63.2%)、計 340 課程 (同 65.3%) であった。
2. 調査 D の回答学科は多くが調査 A 「情報専門学科」と重なっているが、調査 B 「非情報系学科」に該当する学科で教科「情報」の教職課程を設置している例もある。
3. 一般情報教育に対するエフォート比率は大きいですが、平均達成度レベルは、他の領域と比較してもそれほど高いとは言えない。
4. 「情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル」に対するエフォート比率は大きく、技能に対する平均達成度レベルも他の領域と比較して高い。
5. 教科「情報」の教職課程の学生定員合計は 20,854 名だが、1 学年の教職課程履修者数は 5,006 名、免許取得者数は 369 名に留まる。教科「情報」の教員採用数が極めて少ないことから途中で離脱する学生が多い。
6. 平成 27 年度教職課程修了生 (「情報」以外の教職課程も含む) の進路として、教科「情報」の教員は 198 名に留まる。「情報」以外の教員は 1,290 名。大学院進学者 3,173 名、就職者 11,371 名、不明 1,332 名。教科「情報」の免許を取得する学生は、複数免許を取得することで教員採用時の競争力を確保しているのが現実である。
7. 利用できる教育用電子計算機システムが学内にない学科等は全体の 31.4% (106 件)。

本調査で収集したデータは、教職課程の再課程認定直前のデータとして、詳細な現状を把握する上で有用である。今後は、再課程認定の後 (平成 32 年以降) に再調査を行うことが望ましい。調査 C など他の調査データも併せて分析することで、「情報機器の操作」の教育内容の特徴を明らかにすることも期待できる。

教科「情報」の教職課程プログラムに対しては、教育職員免許法施行規則第 5 条および第 66 条の 6 (情報機器の操作) の規定はあるが、具体的なカリキュラムの設計は個別の教育機関に任されている。「情報学の参照基準」の策定を受け、今後は同参照基準とも対応づけた形で教科「情報」に対するカリキュラム標準が示されることが望まれる。

## 2.6. 調査 E : 教育用電子計算機システム

調査 E (教育用電子計算機システムに関する調査) は、全学あるいは学科等が運用している電子計算機システムのうち、情報教育に利用される教育用電子計算機システムを調査対象とする。

教育用電子計算機システムが学内で複数運用されている場合は、担当部局ごとに新規の回答者を調査用 Web サイトに登録の上、個別に回答を求めた。全学で運用しているシステムの場合は、責任部局 (情報処理センター等) に回答を求めた。学科等で運用しているシステムの場合は、当該学科等の責任者またはシステム管理者が回答することとした。

調査対象年度は平成 28 年度とし、別途指示がない限り、調査対象年度における実績に基づいて回答を求めた。計画されているものの、まだ始まっていない雇用等については、前年度実績に基づいての回答することとした。

調査用 web サイト <https://www.cs.is.saga-u.ac.jp/cresie/> を用いて質問紙法によって調査を行った。

調査 E に対しては、国立 74 校 (登録大学の 93.7%)、公立 57 校 (同 78.1%)、私立 318 校 (同 63.7%)、計 449 校 (同 69.0%) から計 569 件の回答が得られた。表 2.6-1 に回答の内訳を示す。学内に複数の教育用計算機システムを保有するケースもあるため、回答数と大学数は一致しない。

表 2.6-1 回答数分布

設置区分	回答数
国立	73
公立	128
私立	368
合計	569

### 2.6.1. 教育用電子計算機システム

#### 2.6.1.1. レンタル契約年数

現行の教育用計算機システムのレンタル契約年数を収集した。買い取り契約の場合は「99」を入力するものとした。が、実際には 0 年を入力しているケースが複数あった。そのうちには「教育用計算機はない」と特記されたものが 1 件、「学生に PC 購入を義務付けそれを使用している」と特記されたものが 2 件含まれていたが、それら 3 件を含めて、0 のデータは不明として扱った。以下にそれらのクロス集計、および買い取り契約と不明を除いた分布のグラフを以下に示す。レンタル、買い取り、不明の割合は、45.5% (259 件)、40.4% (230 件)、14.1% (80 件)と、レンタルと買い取りの間に大きな開きはなかった。

表 2.6.1.1-1 レンタル契約年数の分布

	国立	公立	私立	総計
1年		2	6	8
2年			1	1
3年	2	2	2	6
4年	40	4	31	75
5年	44	44	62	150
6年	8		8	16
7年			2	2
8年			1	1
小計	94	52	113	259
買取	17	16	197	230
不明	17	5	58	80
総計	128	73	368	569

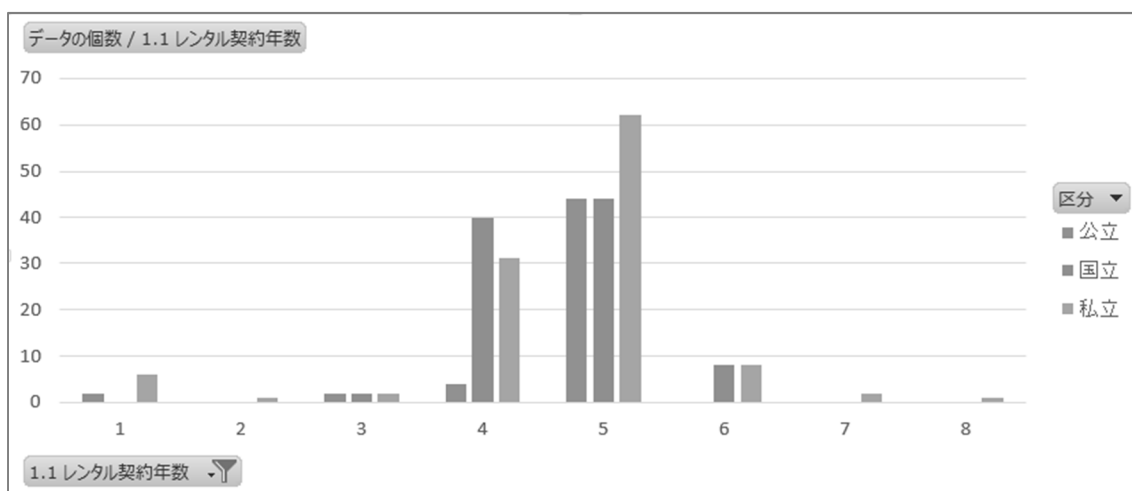


図 2.6.1.1-1 レンタル契約年数の分布

グラフから、公立・国立・私立関わらず、5年契約が多く、次いで4年契約が多いことが見て取れる。これはIT機器の製品の寿命（ライフサイクル）が概ね4～5年であることから妥当な運用と考えられる。その一方、私立では、予算の関係からか、7年や8年と長いケースも見られた。なお、レンタル契約には特記事項にてリース契約と記載していた19件が含まれており、特記していないものにもリース契約が含まれている可能性がある。契約期間1年の8件のうち3件は、本契約のリース後、年度ごとに更新をおこなっているケースであった。残りの特記していない5件についてもリース同様のリース延長の可能性はある。

### 2.6.1.2. 月間レンタル料

レンタルしている場合について、その月額レンタル料を単位(千円)にて記入を求めた。教育・研究・事務処理等、複数の目的で使用されている場合は、教育部分の使用比率に応じて按分するものとしたが、実際にはネットワークなどのインフラとの一括契約のため按分できないと特記しているケースが3件あり、これらは月額を0と記載していた。同様の理由かは不明であるが、同様にレンタル期間が3～5年と記載されているにも関わらず月額料金が記載されていないケースが、これらを含めて23件存在した。2.6.1.1節で対象とした259件からこれらを除いた236件について集計した。なお、集計にあたっては、千円単位に正規化し忘れていると思われるデータについては当方にて修正をおこなっている。

表 2.6.1.2-1 月間レンタル料の集計(単位:千円)

月額レンタル料	最小値	最大値	平均値	中央値	最頻値
公立	0	95,400	3241.2	1,148	3000
国立	0	87,990	3381.6	2,797	2000
私立	0	103,000	1966.2	2,062	479
全体	0	103,000	5789.6	2,115	2000

平均値と中央値にかい離が見られるのは、回答の組織規模が学科から大学全体までとまちまちでデータにばらつきが多いためと考えられる。概ね100万円以下のシステムは学科などの小さい組織のものが多いが、小規模の大学もそこに含まれており、私立に多い。5,000万円を超えるようなシステムが5件(公立1件、国立1件、私立1件)あったが、これらは大規模な大学全体を対象とする組織のものである。これらが含まれていることで全体の平均値を引き上げている。1億円前後のケースが、公立で1件、私立で1件、計2件存在したが、これらは全学生にタブレットを貸し出していることが特徴的だった。また8千万以上のケース2件のうち1件については、スーパーコンピューターのレンタル料が含まれていると特記があった。このように、貸与機器やその他の設備代が含まれている場合、月額レンタル料が高額になる。

### 2.6.1.3. 購入・提供している学生用端末・PC総数

各組織で購入・提供している学生用端末・PC数について、授業で利用できるパソコン演習室(以下、PC演習室)数、PC演習室に設置された端末・PC数(以下、端末数)、オープンスペースに設置された端末数、貸出用端末数、その他の端末数に分けて調査した。

PC演習室数については、要請の誤読からか、端末数と同数あるいはオープンスペース

などとの総和を書いたものが 17 件存在したため、これらは不明として取り扱った。演習室数の平均値、中央値、最頻値はそれぞれ、6.8、4、2 であった。 公立・国立・私立の別で見てみると、最頻値は 2 室で変化はなかったが、平均値が、公立、国立、私立で、2、3、5 と違いが見られた。最大値が、私立の 62 室で、公立は 35 室、国立は 31 室がとなっていたことから、私立には大きな値があることが平均値に影響している。

情報学教育のために大学が学生の利用に供している端末数は、(1)PC 演習室設置分、(2)オープンスペース設置分、(3)貸出用、(4)その他のいずれの区分においても最小値は 0 (= 該当する PC なし) で最も多かった。全体の数値分布を以下に示す。中央値も 0 の影響を受けるため、0 を除いた場合の中央値と最頻値を括弧内に別途示した。

表 2.6.1.3-1 学生用端末・PC 設置台数

	最小値	最大値	平均値	中央値	最頻値
PC 演習室設置分	0	3605	327.7	195 (215)	0 (50)
オープンスペース設置分	0	1786	64.5	20 (45)	0 (12)
貸出し用	0	7320	51.6	0 (30)	0 (20)
その他	0	5902	59.6	0 (34)	0 (10)

平均値としては、PC 演習室設置分が最も多く、貸出用が最も少なかった。

(2)のオープンスペース設置台数が 0 すなわち提供していないという回答は、国立で 128 件中 62 件 (48.4%)、公立で 73 件中 33 件 (45.2%)、私立で 368 件中 67 件 (18.2%) と、圧倒的に私立が少なく、国公立が 5 割程度であるのに対して、私立は 8 割を超える組織が提供していると回答していた。これは、前述の全学生へのタブレット貸与と同様に、私立が学生サービスに力を入れていることを示していると思われる。設置数は 50 台以下が多く、200 台を超える回答はまれである。なお、1000 台を超える回答は私立に 2 件存在した。

(3)の貸出し用についても、0 すなわち貸与していないという回答は、国立で 96 件 (75%)、公立で 50 件 (68.5%)、私立で 164 件 (44.6%) と、国公立では 7 割以上が貸与していないのに対して、私立は 5 割以上が貸与していることがわかった。

(4)のその他は 20~30 台が多く、その内訳のうち上位 3 位は、学生実験・演習・実習用 (29 件)、研究室、ゼミ室、大学院生等研究室用 (26 件)、図書館に配置 (情報検索 (蔵書検索、文献検索等) 及び自学自習等に利用 (16 件) となっていた。

(1)の PC 演習室設置分については、上述の PC 演習室で割ったものの集計を以下に示す。演習室数が 0 と記入された 44 件、また、上で述べた PC 室数が端末数以上のケース 17 件

存在した。これら、演習室数 0 の 44 件に、設置端末数が記入されているのは 3 件存在したが計算不能のため、それらすべて 63 件を除く 508 件（公立 67 件、国立 106 件、私立 335 件）を対象にしている。なお、演習室設置端末数が 0 の件のうち、PC 演習室数が 0 でないという回答は 11 件、6 大学（国立 2、私立 9）存在した。

表 2.6.1.3-2 1 室あたりの学生用端末・PC 設置台数

	最小値	最大値	平均値	中央値	最頻値
国立	0	200	53.8	50 (50)	50 (50)
公立	0	124	52.6	50 (50)	48.5 (48.5)
私立	0	328	51.7	48 (50)	0 (40)
全体	0	328	52.3	49.9 (50)	60 (60)

国公立では概ね平均値、中央値、最頻値すべて 50 台付近となっている一方で、私立は中央値が 48 とずれ、最頻値も 0 で、0 を除いた場合も 40 と、国公立の分布とは異なる傾向を示した。最大値は私立がもっとも大きく 328 である一方で、端末室に PC を設置しないケースや小規模なものも多いなど、多様な形態を持つことが影響していると思われる。

#### 2.6.1.4. 教育用ソフトウェア

以下のソフトウェアを学生向けに提供しているか否かの回答を求めた。これら以外の教育用ソフトウェアを導入している場合は、「他の教育用ソフトウェア」欄に記入するよう指示した。また、他大学と比較して特殊な提供形態を採用していると判断される場合は、「特記事項」に注記するよう指示した。

- OS (Web ブラウザ等を含む)、以下 OS
- ウィルス対策ソフト、以下ウィルス対策
- オフィス系ソフトウェア (文書作成、表計算、プレゼンテーション等)、以下オフィス
- 通信系ソフトウェア (メーラー、ファイル転送、Skype 等)、以下通信
- 動画等編集ソフトウェア (ビデオ編集、画像編集、音楽編集等)、以下動画等編集
- プログラム開発環境 (コンパイラ、デバッガ等)、以下開発環境
- データベース (MS Access、MySQL 等)、以下 DB
- モデリングツール (UML、フローチャート等)、以下モデリング
- LMS (Learning Management System)

公立・国立・私立それぞれでの所有率の集計結果を以下に示す。

表 2.6.1.4-1 ソフトウェアの導入比率（単位は%）

	OS	ウィルス対策	オフィス	通信	動画等編集	開発環境	DB	モデリング	LMS
国立	78.1	80.5	82.0	64.1	39.8	68.8	57.0	21.9	50.0
公立	78.1	79.5	83.6	71.2	47.9	41.1	43.8	11.0	37.0
私立	73.1	74.2	82.9	54.1	52.2	43.2	59.8	14.4	53.8
全体	74.9	76.3	82.8	58.5	48.9	48.7	57.1	15.6	50.8

この設問に関しては、各カテゴリに属するソフトウェアを「提供しているか否か？」という尋ね方をしたため、「提供する」を「教育に用いている」あるいは「教育に利用できる状態である」と解釈した回答者と、「学生が利用できるように貸出等を行っている」あるいは「行える状態である」と解釈した回答者に分かれた可能性がある。OS及びウィルス対策ソフトウェアの「なし」の割合が常識で考えられる値よりも高くなっているのはそれが一因と解釈できる。

個別に傾向を見て行くと、公立・国立では通信系ソフトウェアにおいて、私立より10～20%程度多かった。一方、公立・私立と国立の間で差が見られるのが動画等編集ソフトウェアとプログラム開発環境およびモデリングツールで、動画等編集では公立・私立が10%程度国立より多く、開発環境とモデリングでは公立・私立より国立が10%程度多かった。これらは、講義での重点の置き方の違いからくる差と見られる。また、**LMSについては、国立と私立では50%超える導入率であったのに対して、公立では40%未満の導入率であった。**これはおそらく公立は規模が小さいため、導入によるスケールメリットが得られないためではないかと推測される。

興味深いのが、**ソフトウェア開発環境は国立が優位であったが、データベースについては私立が国立より2%ほど多い結果となっていることである。**これは「他の教育用ソフトウェア」欄で統計計算や数値解析などのデータ処理系ソフトが多くあげられているのに関連して、バックエンドとして使用されているからではないかと考えられる。

「他の教育用ソフトウェア」欄に何らかのソフトを挙げた回答は240件(回答率42.2%)で、公立30件、国立64件、私立146であった。それぞれの区分内での回答率は、公立41.1%、国立50%、私立39.7%で、国立が10%ほど高い回答率だった。ひとつの回答内で複数のソフトウェアを挙げる回答も多く、統計処理などカテゴリで複数のソフトウェアをまとめて挙げている場合も多かった。このため厳密ではないが集計した結果、上位3種類



は、統計分析 56 件、数値解析、データ解析・数式処理 48 件、3D モデリング・CAD40 件であった。

#### 2.6.1.5. デジタルコンテンツ

情報処理技術者試験テキスト・問題集、各種電子ブック、ビデオ教材などの、情報教育用に購入・提供しているデジタルコンテンツの記入を求めた。

本項目に何らかのソフトを挙げた回答は 150 件（回答率 26.4%）で、公立 14 件、国立 36 件、私立 100 であった。それぞれの区分内での回答率は、公立 19.2%、国立 28.1%、私立 27.2%で、国立と私立が公立より 10%弱高い回答率だった。ひとつの回答内で複数のコンテンツを挙げる回答も多く、語学教育などカテゴリを挙げる一方で個別のタイトル名を挙げるなどのばらつきがあった。このため厳密ではないが集計した結果、情報倫理に関するコンテンツの利用割合が最も高く 41 件（7.1%）であった。技能認定（資格等取得）のためのテキストや問題集の利用では、マイクロソフトオフィススペシャリスト（MOS）に関するコンテンツが 23 件（4.0%）であった。医療系学部、経済学部の一部では専門分野の国家試験対策用コンテンツの利用もみられた。

### 2.6.2. システム管理・運営体制

#### 2.6.2.1. 教職員・学生アルバイト

育用計算機システムの管理・運営に従事している常勤教職員数および非常勤職員数を区分に従って記入してもらった。教育用計算機システムの管理・運営以外の業務にも従事している場合は、業務負荷に応じて按分するように指示した。また、教育用計算機システムの管理・運営に従事している学生アルバイトを人・時単位で回答（1 名を 60 分雇用した場合、1 人・時）してもらった。

常勤職員数の集計結果を表 2.6.2.1-1 に示す。

表 2.6.2.1-1 常勤職員数

	最小値	最大値	平均値	中央値	最頻値
国立	0	72	4.0	2 (2)	1 (1)
公立	0	69	3.4	2 (2)	1 (1)
私立	0	208	5.2	2 (3)	2 (2)
全体	0	208	4.7	2 (3)	2 (2)

次に、非常勤職員数の集計結果を表 2.6.2.1-2 に示す。

表 2.6.2.1-2 非常勤職員数

	最小値	最大値	平均値	中央値	最頻値
国立	0	15	1.1	0.025 (1)	0 (1)
公立	0	17	0.7	0 (1.8)	0 (1)
私立	0	185	2.6	0 (1.5)	0 (1)
全体	0	185	2.0	0 (1)	0 (1)

全体的に、非常勤職員より常勤職員の方が多く、非常勤職員を雇っていないケースも 344 件と全件 569 件の 60.5%を占めていた。その内訳を見ると、国立 64 件で国立内では 50%、公立 55 件で公立内では 75.3%、私立 225 件で私立内では 61.1%と、公立>私立>国立の順で非常勤講師を雇っていない率が高かった。雇っているケースについては、平均値が国立では 1.1、公立では 0.7 と 1 人前後であるのに対して、私立は 2.6 と大きい傾向が見られたが、中央値や最頻値はいずれも 1 人台であることから、特に私立では外れ値として大きな値があることがわかる。実際、最大値は私立の 185 人と、公立・国立での最大値 17 および 15 に対して非常に大きい。

常勤職員については、全体の平均は 4.7 人で、国立が 4.0 人、公立が 3.4 人と 4 人以下であるのに対して、私立は 5.2 人と 1 人以上の開きが見られた。レンタル料や端末数と同様、組織の規模のばらつきから数値の開きが外れ値となっているため、平均値と中央値・最頻値の間には 2 または 3 のずれがあるが、国公立に対して私立が 1 人ほど多い傾向は変わらない。これより、国公立より私立の方が、少なくとも人数的には恵まれていると言えるだろう。

### 2.6.2.2. 委員会

管理・運営方針等を決定する委員会の状況を表 2.6.2.2-1 にまとめる。

表 2.6.2.2-1 管理・運営方針等を決定する委員会の状況

	公立	国立	私立	総計	割合
学内規則に基づく委員会を設置	56	83	260	399	70.1%
非公式の会議等で検討	1	19	12	32	5.6%
特になし	16	26	96	138	24.3%
総計	73	128	368	569	
特になし比率	21.9%	20.3%	26.1%	24.3%	

教育用情報システムの管理・運営方針等の決定には、「学内規則に基づく委員会を設置」と回答したのが 399 件 (70.1%)、「非公式の会議等で検討」が 32 件 (5.6%)、「特になし」

が 138 件 (24.3%) であった。特に設置していないケースを個別に見てみると、私立で 26.1% と多いことがわかった。

### 2.6.2.3. 外部委託

外部委託している代表的な業務を、規模の大きいものから順に、最大 5 項目程度、自由記述にて挙げてもらった。

何らかの業務を挙げた回答は 305 件 (53.6%)、外部委託業務なしと解釈できる回答 (「なし」「外部委託なし」等) は 23 件 (4.0%)、未回答は 241 件 (42.4%) であった。業務内容については、自由記述から含まれている語を中心に、「管理・運用系」「導入系」「保守系」「障害対応系」「窓口系」に以下のように分類をおこない、その件数をカウントした。なお、複数の業務を含む回答が多数あったため、件数は重複している。

表 2.6.2.3-1 外部委託している代表的な業務

業務分類	業務内容	件数	割合 (%)
管理・運用系	日常的なシステムの運用管理業務。システム利用のためのオリエンテーションや講習会なども含む	99	32.5
導入系	システム設計、構築およびインストール作業などの業務	17	5.6
保守系	ソフトウェアやハードウェアの更新など、日常的な保守業務	182	59.7
障害対応系	障害が発生した時の対応業務。一部は窓口系業務と重複	28	9.2
窓口系	ヘルプデスクや PC サポート、トラブル対応など。一部は障害対応系業務と重複	68	22.3

※ 本表における割合 (%) の分母は 305 である。

保守系の業務を挙げたものが最も多く 59.7% を占めていた。 保守は、管理・運用系と合わせて挙げているケースも多かった。管理・運用・保守対象としては、ハードウェアとしてのサーバー、ネットワーク、端末、及び、メールサービス、学習管理システム、基本ソフトウェア及びウィルス対策を明示しているケースも多く、これらがインフラとして重要視されていることがうかがわれた。また、窓口系の業務も 22.2% と比較的多く、日々の運用の中での利用者からの問い合わせ対応の業務負担の多さを反映していると考えられる。

また、これらについて、公立・国立・私立でのクロス集計をおこなってみたところ、以下のようになった。件数の後ろのカッコ内は、各回答中の割合である。

表 2.6.2.3-2 業務分類毎の委託比率

	回答数	管理・運用系	導入系	保守系	障害対応系	窓口系
国立	53	7(13.2%)	4(7.5%)	35(66.0%)	6(11.3%)	3(5.7%)
公立	50	17(34.0%)	4(8.0%)	34(68.0%)	8(16.0%)	5(10.0%)
私立	202	75(37.1%)	9(4.5%)	113(55.9%)	14(6.9%)	60(29.7%)
総計		99	17	182	28	68

回答数も少なく、全体的な傾向から大きく外れてはいないが、あえて違いを挙げるならば、私立は保守系の業務を挙げている割合が少なく、窓口系の業務を挙げている割合が多いようである。

### 2.6.3.自由記述欄

以下の項目については、任意での自由記述を求めた。

#### 2.6.3.1. 将来計画

改組または組織再編等の予定を、回答可能な場合には記入するように依頼した。

何らかの記述があった回答は 94 件 (16.4%) で、そのうち「なし」と解釈できる回答は 38 件 (6.6%) であった。改組、組織再編等の計画が「ある」と回答したのは、検討中をふくめ 18 件 (3.1%) であった。そのほかの回答として、システム更新について 12 件 (2.1%)、利用環境の充実について (検討中を含め) 4 件、ソフトウェアの包括契約、ソフトウェアのバージョンアップについて各 1 件の回答があった。

#### 2.6.3.2. アピール事項

学内 LAN 等の整備、外部の計算機センターや企業等との連携、教育用 ICT 環境など、情報教育関係のアピール事項があれば記入するように依頼した。

これに対して、学内 LAN の整備、拡充について 103 件 (17.9%)、無線アクセス環境の充実について 79 件 (31.7%)、アクティブラーニングについて 10 件 (1.7%)、統合認証等複数サービスにおける認証の利便性向上について 9 件 (1.6%)、セキュリティについて 8 件 (1.4%)、仮想化技術の利活用について 4 件 (0.7%) 等の回答が得られた。

#### 2.6.3.3. 特記事項

不正な回答を防止するための対象組織の連絡担当者氏名の記入の他、現状で認識している課題、特殊事情等の記入を依頼した。連絡担当者氏名を除くと、費用に関する記述が 17 件 (3.0%)、セキュリティに関する記述が 11 件 (1.9%) と上位を占めた。

#### 2.6.4. 調査 E のまとめ

調査 E「教育用電子計算機システム」を通じて以下の知見が得られた。教育用電子計算機システムは情報教育のレベルにも大きな影響を与えることが分かっている(2.2.6.1 節)。財政上の制約に起因する様々な問題が明らかになっており、早急な対処が望まれる。

1. 調査 E「教育用電子計算機システム」に対しては、国立 74 校（登録大学の 93.7%）、公立 57 校（同 78.1%）、私立 318 校（同 63.7%）、計 449 校（同 69.0%）から計 569 件の回答が得られた。
2. 計算機システムが定期更新されない買い取りのケースが全体の 40.4%にのぼる。
3. PC 演習室数の平均値は 6.8、PC 設置台数は 503.4 台/大学。65%は PC 演習室に設置。
4. ソフトウェア開発環境の導入比率は国立で 68.8%、公立・私立で 42%程度と差がある。データベースの導入比率は国立・私立で 60 %弱、公立で 43.8%となっており、私立大学での導入事例が比較的多い。
5. LMS（学習支援システム）の導入比率は国立・私立大学では 50%を超えるが、公立大学では 40%未満に留まっている。学生数が多い大規模大学での導入が進んでいる。
6. システム管理・運営の担当者は非常勤職員より常勤職員が多く、非常勤職員を雇っていないケースも 344 件（60.5%）を占める。国公立より私立が 1 名多い。
7. 人手不足に伴い保守系業務や管理運用系業務の外部委託が進行している。

## 2.7. 今後に残された分析と課題について

情報学分野の大学教育の現状調査は、日本の全大学を対象として実施した同種の調査としては日本では初めての取り組みである。本調査を通じて明らかになったことは多いが、今後に向けた課題もある。本節では、J17 の策定に向けて、今後行うべき分析および課題について述べる。

### 2.7.1. 回答データの保管・管理・公開

調査に使用した Web システムは、2017 年 3 月 31 日に受付を終了する。アンケートの締め切り（2016 年 12 月末）以降に登録・修正されたデータも含め文部科学省に提出するとともに情報処理学会にて保管し、大学の個別情報については漏えいがないよう各種法令および情報処理学会プライバシーポリシーに従って管理する。

### 2.7.2. 回答データの妥当性確認と追調査

2017 年度は、J17 策定に向けて収集したデータの妥当性確認（未回答項目や妥当とは考えにくい回答の取り扱い）作業を進めるとともに、調査の種類ごとに対象領域による詳細な分析を行い、さらなる特徴を見出す。加えて、アンケートに積極的に回答した大学等を対象として、追調査やヒアリングを実施することにより、情報教育の実態を調査し、他大学も参照できるモデル授業などを収集する。

### 2.7.3. 個別調査の詳細分析と公表

2017 年度中に行うべき詳細分析は、調査種別ごとの報告にまとめたとおりである。調査 A/C/D については、それぞれに専門とする組織での分析を行う。また、調査 B については情報教育の専門家だけでなく、幅広い視点からの分析が必要とされる。これらから得られた結果や知見は、論文等にまとめ、学会 Web ページでの公開、シンポジウムなどで発表していきたい。加えて、教育内容において、参照基準の区分に含まれないものの洗い出し・分類・抽出を行い、参照基準自体を検証する作業につなげたい。

### 2.7.4. 調査種別間の関連分析

おそらく 2018 年度以降になるが、調査種別ごとの分析が終了した後は、調査の種類間の関係について分析を行う。たとえば調査 A と調査 B、調査 A/B と調査 D、調査 A/B と調査 C といったものである。情報専門教育、非情報系学科における情報教育、一般情報教育、教科「情報」の教職課程、および教育用電子計算機システムの間を整理し、一貫性の取れた情報教育を実施するために重要と考えている。

### 2.7.5. 分析結果を考慮した J17 カリキュラム標準の検討

本調査を通じて得られた知見を踏まえて情報処理学会 J17 カリキュラム標準の策定を進める。また、J17 カリキュラム標準の策定に合わせて、情報学の参照基準とカリキュラム標準の各 BOK の対応関係を明確化する予定である。

### 2.7.6. 今後のアンケート調査にあたっての課題

最後に、情報教育に関する調査をするにあたっての課題を記す。

- 回答に要する負担および調査後の分析を考慮したアンケート調査項目の選定
- より回答しやすい、より使いやすい、アンケート調査システムの開発
- 回答の依頼、催促、大学ごとの窓口担当者の明確化など、回答率をあげる工夫
- 問い合わせに対応する専門的人員の確保と訓練。具体的な業務としては、問い合わせの受付対応および整理、電話対応、質問内容による関係者への振り分け、FAQ の整備などが挙げられる。
- 収集した回答データの点検と妥当性確認
- この種の調査は、国勢調査にならって 5 年程度の周期で定期的を実施することが望まれる。全体調査を 10 年毎、差分調査を 5 年毎に行う方法も考えられる。

## 2.8. 参考資料

### 2.8.1. 日本の情報系学科一覧

調査 A「情報専門学科」に回答して頂いた情報系学科は表 2.2.1 に示したとおり 183 大学・216 学部・267 学科にのぼるが、これらのうち名称の公表について承諾が得られた学科の一覧を以下に示す（2017 年 3 月 20 日現在）。なお、公開の諾否に関わらず、回答学科等の一覧および回答内容は文部科学省に提出済みである。

国立大学

大学	学部	学科・コース
お茶の水女子大学	理学部	情報科学科
愛媛大学	工学部	情報工学科
横浜国立大学	理工学部	数物・電子情報系学科 情報工学教育プログラム
岩手大学	理工学部	システム創成工学科 知能・メディア情報コース
京都工芸繊維大学	工芸科学部	情報工学課程
九州工業大学	情報工学部	電子情報工学科
弘前大学	理工学部	電子情報工学科
香川大学	工学部	電子・情報工学科
高知大学	理工学部	情報科学科
佐賀大学	理工学部	知能情報システム学科
山口大学	工学部	知能情報工学科
山梨大学	工学部	コンピュータ理工学科
鹿児島大学	工学部	情報生体システム工学科
秋田大学	理工学部	数理・電気電子情報学科 人間情報工学コース
小樽商科大学	商学部	社会情報学科
信州大学	工学部	電子情報システム工学科
神戸大学	工学部	情報知能工学科
大阪教育大学	教育学部	教養学科
大阪大学	基礎工学部	情報科学科
	工学部	電子情報工学科
筑波大学	情報学群	情報メディア創成学類
		情報科学類
		知識情報・図書館学類
電気通信大学	情報理工学域	I 類（情報系）
	情報理工学部	総合情報学科
		情報・通信工学科
		先端工学基礎課程
東京大学	工学部	計数工学科
	理学部	情報科学科



大学	学部	学科・コース
東北大学	工学部	電気情報物理工学科
福井大学	工学部	情報・メディア工学科
北海道大学	工学部	情報エレクトロニクス学科
名古屋工業大学	工学部	情報工学科 知能情報分野 ネットワーク分野 メディア情報分野
名古屋大学	情報文化学部	社会システム情報学科
		自然情報学科
琉球大学	工学部	電気電子工学科 昼間主コース

#### 公立大学

大学	学部	学科・コース
愛知県立大学	情報科学部	情報科学科
岡山県立大学	情報工学部	情報システム工学科
宮城大学	事業構想学部	デザイン情報学科
熊本県立大学	総合管理学部	総合管理学科 情報管理コース
県立広島大学	経営情報学部	経営情報学科
公立はこだて未来大学	システム情報科学部	情報アーキテクチャ学科 情報システムコース 情報デザインコース
		複雑系知能学科 知能システムコース 複雑系コース
高知工科大学	情報学群	
秋田県立大学	システム科学技術学部	電子情報システム学科
富山県立大学	工学部	情報システム工学科

#### 私立大学

大学	学部	学科
愛知工科大学	工学部	情報メディア学科
愛知工業大学	情報科学部	情報科学科
岐阜経済大学	経営学部	情報メディア学科
京都産業大学	コンピュータ理工学部	コンピュータサイエンス学科
		ネットワークメディア学科
		インテリジェントシステム学科
玉川大学	工学部	ソフトウェアサイエンス学科
近畿大学	工学部	情報学科
金沢学院大学	経営情報学部	経営情報学科
金沢工業大学	工学部	情報工学科

大学	学部	学科
慶應義塾大学	総合政策学部	総合政策学科
	環境情報学部	環境情報学科
	文学部	人文社会学科 図書館・情報学専攻
	理工学部	情報工学科
甲南大学	知能情報学部	知能情報学科
国土館大学	理工学部	理工学科 電子・情報学系
山梨英和大学	人間文化学部	人間文化学科 メディア・サイエンス領域
湘南工科大学	工学部	情報工学科
上智大学	理工学部	情報理工学科
新潟医療福祉大学	医療経営管理学部	医療情報管理学科
新潟経営大学	経営情報学部	経営情報学科
新潟工科大学	工学部	工学科 情報通信コース
新潟国際情報大学	情報文化学部	情報システム学科
神奈川工科大学	情報学部	情報ネットワーク・コミュニケーション学科
		情報工学科
神奈川大学	工学部	情報システム創成学科
	理学部	情報科学科
成蹊大学	理工学部	情報科学科
青山学院大学	理工学部	情報テクノロジー学科
		経営システム工学科
青森大学	ソフトウェア情報学部	ソフトウェア情報学科
千歳科学技術大学	理工学部	情報システム工学科
千葉工業大学	情報科学部	情報工学科
千葉商科大学	商経学部	情報コース
専修大学	ネットワーク情報学部	ネットワーク情報学科
川崎医療福祉大学	医療福祉マネジメント学部	医療情報学科
創価大学	理工学部	情報システム工学科
早稲田大学	基幹理工学部	情報理工学科
大阪工業大学	工学部	電子情報通信工学科 基幹コース
		情報科学部
	情報科学部	コンピュータ科学科
		情報システム学科 情報メディア学科 情報ネットワーク学科

大学	学部	学科
稚内北星学園大学	情報メディア学部	情報メディア学科
中京大学	工学部	情報工学科
長野大学	企業情報学部	企業情報学科
津田塾大学	学芸学部	情報科学科
帝京大学	理工学部	情報電子工学科
		情報科学科 通信教育課程
東海大学	情報理工学部	情報科学科
東京工科大学	コンピュータサイエンス学部	コンピュータサイエンス学科
東京情報大学	総合情報学部	総合情報学科
東京都市大学	メディア情報学部	情報システム学科
東京理科大学	工学部	情報工学科（経営工学科）
	理学部第一部	数理情報科学科
	理工学部	情報科学科
		電気電子情報工学科
東北学院大学	教養学部	情報科学科
東北工業大学	工学部	情報通信工学科
東北福祉大学	総合マネジメント学部	情報福祉マネジメント学科
東北文化学園大学	科学技術学部	知能情報システム学科
東洋大学	総合情報学部	総合情報学科
徳島文理大学	理工学部	電子情報工学科
日本大学	生産工学部	数理情報工学科 メディアデザインコース 数理情報システムコース
	理工学部	応用情報工学科
八戸工業大学	工学部	システム情報工学科
福岡工業大学	情報工学部	情報通信工学科
		情報工学科
		システムマネジメント学科
		情報システム工学科 情報システム技術コース 情報システム設計コース
福岡大学	工学部	電子情報工学科 情報コース 情報システムコース
福山大学	工学部	情報工学科
	人間文化学部	メディア・映像学科
兵庫大学	経済情報学部	経済情報学科 情報コース

大学	学部	学科
法政大学	情報科学部	コンピュータ科学科
		デジタルメディア学科
北海道科学大学	工学部	情報工学科
	未来デザイン学部	メディアデザイン学科
北海道情報大学	経営情報学部	システム情報学科
名古屋文理大学	情報メディア学部	情報メディア学科
明治大学	総合数理学部	ネットワークデザイン学科
明星大学	情報学部	情報学科

## 2.8.2. 調査に用いた項目

本調査で用いた領域、調査項目および内容は、「情報学の参照基準」および一般情報教育（J07-GEBOK）に基づいて設定した。領域については、表 2.1.3 に示したが、本節では、より詳細な調査項目名と調査項目の内容を示す。

領域名	調査項目名	内容
一般情報教育	情報とコミュニケーション	情報と人間のかかわり、コミュニケーションの基礎概念とモデル、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション (HCI)、メッセージの理解、HCI 機器、グラフィカルユーザインタフェース、3次元ユーザインタフェース
	情報のデジタル化	符号化の原理、数値・文字の符号化、アナログ情報からデジタル情報へ、符号圧縮、情報理論
	コンピューティングの要素と構成	コンピュータの構成、論理回路と論理演算、ソフトウェアの構成要素、コンピュータの動作原理、論理代数と論理回路、オペレーティングシステム、プログラミング言語と言語処理方式
	アルゴリズムとプログラミング	アルゴリズムとプログラム、色々なアルゴリズム、アルゴリズムの良し悪し、扱いにくい問題
	データモデリングと操作	モデル化の考え方、モデル化の特性、モデル化の実例、状態遷移モデル、グラフ、データ構造とアルゴリズム
	情報ネットワーク	情報ネットワークでできること、ネットワークの構成、インターネット、ネットワークの仕組み、インターネットサービス
	情報システム	情報行為と情報システム、情報システム事例、企業活動と情報システム、社会基盤としての情報システム
	情報倫理とセキュリティ	社会で利用される情報技術、インターネット社会における問題、情報発信のマナー、知的財産権・個人情報・プライバシー、情報セキュリティ、パソコンのセキュリティ管理

領域名	調査項目名	内容
	コンピュータリテラシー	コンピュータの基本操作，表計算によるデータ処理，プレゼンテーションソフト，電子メール，Web上での情報検索
情報一般の原理	情報と意味（情報は意味作用をもち、世界を変化させ、そこに価値と秩序をあたえる）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生命にとっての意味と価値 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 生物が生存するための選択行動のベースとなる</li> <li>- 個々の選択行動は、試行錯誤を通じて淘汰され、共通の社会的価値の創造につながる</li> </ul> </li> <li>・情報と秩序 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 物理力によらず意味作用で世界を動かし、秩序化する</li> </ul> </li> </ul>
	情報の種類（広義、狭義、最狭義の情報（包含関係））	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生命情報（意味作用の源泉。身体技能的な暗黙知などを含む） <ul style="list-style-type: none"> <li>- 広義の情報：明示的／非明示的な全ての情報</li> <li>- DNA 遺伝情報だけではない</li> </ul> </li> <li>・社会情報（人間社会で通用する全ての情報） <ul style="list-style-type: none"> <li>- 狭義の情報：記号で明示化された生命情報</li> <li>- マスコミ情報だけではない</li> </ul> </li> <li>・機械情報（機械で形式的に処理される情報） <ul style="list-style-type: none"> <li>- 最狭義の情報：社会情報の記号が独立したもの</li> <li>- 0/1 のデジタル情報だけではない</li> </ul> </li> </ul>
	情報と記号（情報は、記号とそれが表す意味内容のセットから成り立っている）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・類似記号（意味内容と類似したパターン） <ul style="list-style-type: none"> <li>- アナログ信号</li> <li>- 画像映像、擬音擬態語など</li> </ul> </li> <li>・指標記号（意味内容と論理関係をもつパターン） <ul style="list-style-type: none"> <li>- トイレや緊急出口の案内板など</li> </ul> </li> <li>・象徴記号（意味内容と無関係なパターン） <ul style="list-style-type: none"> <li>- デジタル信号など</li> <li>- 大半の言語記号など</li> </ul> </li> </ul>
	記号の意味解釈（意味解釈の仕方は、情報を扱う主体によって異なる）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人間をふくむ生物個体（記号の自律的な意味解釈） <ul style="list-style-type: none"> <li>- 過去の体験にもとづき、自己準拠的に解釈処理</li> <li>- 個体の価値や目的をふくむ主観世界を志向的に構成</li> </ul> </li> <li>・人間の社会的組織（共同体的な意味解釈） <ul style="list-style-type: none"> <li>- 過去の慣例にもとづき、自己準拠的に解釈処理</li> <li>- 共同体的な価値や目的をふくむ相互主観的な世界を、コミュニケーションにより構成</li> </ul> </li> <li>・コンピュータなど電子機械（記号の他律的かつ形式的な処理） <ul style="list-style-type: none"> <li>- 指示された操作手続きおよび記号の形式にもとづく解釈処理</li> <li>- 客観世界のシミュレーション、人間の思考のシミュレーション</li> </ul> </li> </ul>

領域名	調査項目名	内容
	コミュニケーション (情報をもとにコミュニケーションを生みだすシステム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自律的な閉鎖系(人間をふくむ生物個体のモデル) <ul style="list-style-type: none"> <li>・オートポイエティック・システム</li> </ul> </li> <li>・半自律的な暫定的閉鎖系(人間の社会的組織のモデル) <ul style="list-style-type: none"> <li>・階層的自律コミュニケーション・システム</li> <li>・人間とコンピュータが多様に複合化したシステム</li> </ul> </li> <li>・他律的な開放系(コンピュータなど電子機械のモデル) <ul style="list-style-type: none"> <li>・アロポイエティック・システム</li> </ul> </li> </ul>
	社会的価値の創造(情報処理を通じて、新たな選択肢が選択可能となる)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個々の選択行動が、試行錯誤や生存競争を通じて社会的な共通の選択肢に発展</li> <li>・これまでにない有益な選択肢が創造される</li> </ul>
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
	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
情報の表現・蓄積・管理	データ	文字コード、数値の表現
	データ構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配列、木、グラフ、集合</li> <li>・再帰的データ構造</li> </ul>
	データ型	型検査、型推論
	データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・データモデル</li> <li>・WWW、構造化文書</li> </ul>
情報の認識と分析	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・教師あり学習、教師なし学習</li> <li>・ニューラルネットワーク</li> </ul>
	データマイニング	回帰分析、クラスタリング
計算	計算モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オートマトン、形式言語(チョムスキー階層)、チューリング機械、ラムダ計算</li> <li>・確率的計算、並列計算、分散計算</li> <li>・量子計算</li> </ul>
	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
各種の計	探索、整列	文字列探索、整列アルゴリズム

領域名	調査項目名	内容
算・アルゴリズム	木・グラフアルゴリズム	<ul style="list-style-type: none"> <li>二分木、BDD、ゲーム木</li> <li>最短経路、最大流路</li> <li>ネットワーク解析</li> </ul>
	数値計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>行列（逆行列、固有値分解）</li> <li>積分、微分方程式</li> <li>誤差解析</li> </ul>
	シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>数理モデル</li> <li>連続シミュレーション、離散イベントシミュレーション</li> <li>コンピュータグラフィクス</li> </ul>
	最適化	<ul style="list-style-type: none"> <li>線形計画法</li> <li>動的計画法</li> <li>メタヒューリスティクス</li> </ul>
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>形態素解析、句構造文法</li> <li>統計的自然言語処理</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>組み合わせ回路、順序回路</li> <li>演算回路、制御回路、メモリ（主記憶、キャッシュ）</li> </ul>
	コンピュータアーキテクチャ	<ul style="list-style-type: none"> <li>マイクロアーキテクチャ、制御方式</li> <li>命令セットアーキテクチャ</li> <li>並列（命令レベル並列、マルチコア/マルチプロセッサ、ウェアハウススケールコンピューティング）</li> </ul>
入出力装置	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、センサ
	二次記憶装置	磁気記録、光学記録、半導体メモリ、HDD、SSD
基本ソフトウェア	オペレーティングシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>モノリシック、マイクロカーネル、仮想機械</li> <li>メモリ管理、プロセス管理、デバイス管理、ファイルシステム</li> <li>ネットワーク（プロトコルスタック、TCP/IP、分散システム、クラウド）</li> </ul>
	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、WWW
	プログラミング言語と言語処理系	<ul style="list-style-type: none"> <li>プログラミング言語（低水準言語/高水準言語、文法、意味、パラダイム）</li> <li>言語処理系（字句解析、構文解析、意味解析、最適化、コード生成）</li> <li>実行方式（トランスレータ/コンパイラ、インタプリタ/仮想マシン）</li> </ul>

領域名	調査項目名	内容
社会において情報が創造・伝達される過程と仕組み	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・文化的特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械的な情報技術 (印刷物関連) ---文字情報の機械的処理、リテラシー、検閲、ジャーナリズムの成立</li> <li>・光学的、電気的な情報技術 (映像・音声関連) ---文化産業、イメージ生産とその操作、メディアエーティド・コミュニティ、速度と権力</li> <li>・電子的な情報技術 (インターネット関連) ---機械的な検索などの言語処理、記録、保存 (アーカイブ、データベース)、デジタル通信、情報ガバナンスと管理社会</li> </ul>
情報を扱う人間の特性と社会システム	討議、参加、デジタルデバイス	誤解と誤読, 参加と排除, 情報格差
	観測、シミュレーション、制御と社会的意思決定	観測の限界, 計算の限界, 科学的データと意思決定, 科学技術コミュニケーション, 集合知
	情報倫理と社会組織のルール	表現の自由と責任, 知的財産, 情報公開、インフォームド・コンセント, プライバシー, 内部告発, アカウンタビリティ
経済システムの存立と情報	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ステム, マーケティング, 資源と廃棄
	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・コミュニケーションズ, ガバナンスとガバメント
情報技術を基盤にした文化	アーカイブ	映像, 文書, 図書館
	デジタル文化と資本	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SNSの文化</li> <li>・電子書籍 (電子教科書)、電子新聞</li> <li>・映像</li> <li>・検索と知</li> <li>・デジタルテレビ</li> <li>・資本、公共、コモン</li> </ul>
近代社会からポスト近代社会へ	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
	ポスト近代社会への移行	新たに求められる人間の能力, より民主的な社会の実現と情報技術
情報システムを開発する技術	要求工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場の観察法 (フィールドワーク、エスノグラフィ、アクションリサーチ)</li> <li>・要求定義、要求獲得技術、要求管理</li> </ul>
	システム工学	システム思考、システム設計技法、システム実装技術、システムライフサイクル、システムアーキテクチャ、デザイン思考
	情報システムを記述する技術	各種モデル化技法 (構造化分析、データモデリング、業務フロー、状態モデル、形式手法) と図法 (DFD、UML、BPMN、SysML)



領域名	調査項目名	内容
	ソフトウェア工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェア設計技法(オブジェクト指向モデル、ドメイン主導開発)、ソフトウェアライフサイクル</li> <li>・ソフトウェアアーキテクチャ、パタン・ランゲージ</li> </ul>
	プログラミング技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オブジェクト指向プログラミング</li> <li>・テスト主導開発</li> <li>・プログラミング支援環境</li> </ul>
	情報システムの品質を保証する技術	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、PMBOK、ソフトウェアプロセス、プロセス成熟度モデル
情報システムの効果を得るための技術	情報システムを企画・構想する技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・組織の改革・改善プロセス、業務モデリング、IT投資マネジメント</li> <li>・組織の情報システムに関するガイドライン(Enterprise Architecture)</li> </ul>
	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、改善提案
	情報システムの運用、保守、管理	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)、内部統制(組織と権限)
	グローバルな組織と情報システム	
	安全・安心なシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業継続計画、環境に対する配慮</li> <li>・情報セキュリティ</li> <li>・リスクマネジメント、ダメージコントロール</li> </ul>
情報に関わる社会的なシステム	社会制度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社会におけるさまざまな情報システム、情報システムを前提とした社会制度</li> <li>・技術者倫理</li> <li>・システム監査、評価・認証</li> <li>・異文化理解</li> </ul>
	法制度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイバー犯罪(電磁記録の改ざん、不正アクセス、情報漏洩・持ち出し、コンピュータウイルス)の防止</li> <li>・個人情報保護</li> <li>・著作権保護</li> </ul>
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	人間の認知特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Model Human Processor、人間の認知構造、Fittzの法則</li> <li>・直接操作</li> <li>・ヒューマンエラー</li> <li>・学習のべき乗則</li> </ul>

領域名	調査項目名	内容
計方法	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、アクセシビリティ、ユーザエクスペリエンス、ユニバーサルデザイン、評価手法
	対話手法	・ GUI 部品、タッチインタフェース、音声インタフェース、ジェスチャー ・ 対話の可視化、ヒューマンエラーへの対応
	可視化	情報デザイン、科学的ビジュアライゼーション、データ視覚化
情報学を学ぶ学生が獲得すべき専門的能力（情報学に固有の能力）	情報処理・計算・データ分析	・ 情報の構造を設計する能力 ・ 計算を設計し表現する能力 ・ 形式的なモデルのもとで演繹する能力 ・ 情報を扱う機械を作る能力・運用する能力 ・ 巨大なデータを扱う能力
	システム化	・ システムの体系・構造を理解し表現する能力 ・ 社会において情報を扱うシステムを作る能力・運用する能力 ・ 複雑なシステムの作成を管理する能力 ・ 社会において情報に関わる問題を発見し解決する能力
	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参画する能力 ・ 個人および社会に対する情報の意義や危険性を読み解く能力 ・ 社会においてルールを遵守しつつ情報を利活用する能力
情報学を学ぶ学生が獲得すべきジェネリックスキル	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・論理的緻密さ・演繹する能力 ・ 概念化・モデル化・形式化・抽象化を行う能力
	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，クリティカルシンキング
	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・リーダーシップ・チャンス活用	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 ・ 融合する力・関連付ける力
回答者による追加項目（定義済みの領域・調査項目に含まれない項目）	項目 1	具体的な内容はコメント欄にご記入ください。
	項目 2	具体的な内容はコメント欄にご記入ください。
	項目 3	具体的な内容はコメント欄にご記入ください。
	項目 4	具体的な内容はコメント欄にご記入ください。
	項目 5	具体的な内容はコメント欄にご記入ください。

### 2.8.3. 参考文献

- [1] 日本学術会議 情報学委員会 情報科学技術教育分科会, “大学教育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」”, 2016年3月.
- [2] 河村, “情報専門学科カリキュラム標準 J07:7. 一般情報処理教育(J07-GE)”, 情報処理, Vol. 49, No. 7, pp. 768-774, 2008年7月.
- [3] M. Ohtsuki, T. Kakeshita, “A web-based assessment tool for various types of self-evaluation utilizing common BOK in ICT”, Proc. 3<sup>rd</sup> IEEE MITE 2015, pp. 242-247, Oct. 2015.
- [4] 文部科学省, “学校基本調査”, 平成 28 年度.
- [5] 河村一樹ほか 19 名, 『これからの大学の情報教育』, 日経 BP マーケティング (2016.3)

## 第3章

### 国際的な動向に関する調査

3.1 文献による調査 .....	1
3.1.1 コンピュータ科学 .....	1
3.1.2 情報システム .....	20
3.1.3 コンピュータ工学 .....	35
3.1.4 ソフトウェア工学 .....	51
3.1.5 インフォメーションテクノロジー .....	65
3.1.6. 一般情報教育 .....	82
3.1.7. カリキュラム標準共通の諸側面 .....	97
3.2. 訪問聞き取り調査 .....	102
3.2.1. 聞き取り調査項目・調査先 .....	102
3.2.2. 米国 .....	103
3.2.3. 中国 .....	110
3.2.4. 訪問聞き取り調査の結論 .....	118
3.2.5. 追記 - ベトナム .....	120

### 3. 国際的な動向に関する調査

情報科学技術分野は、グローバルなコミュニティによって発展し、それにかかわる企業群も国境に関係なく活動している。多くの国においては、国際的なカリキュラム標準にしたがって情報学の専門教育が行われており、卒業生もグローバル企業へ就職する。したがって、日本の実情と将来の発展を考慮したカリキュラム標準を策定する際にも、国際的なカリキュラム標準との比較・検討が欠かせない。

そこで、ACM (Association for Computing Machinery)、AIS (Association for Information Systems)、IEEE-CS における最新のカリキュラム (知識の体系 (body of knowledge) およびカリキュラムの設計次元 (design dimensions) など) を収集し、J07 および情報学分野の参照基準との違いを分析・考察する。

また、情報系学部学科における (i) 専門教育、(ii) 専門基礎教育、(iii) 教養教育のカリキュラムがどのように組み立てられているか (例えば、カリキュラム標準にあるコース、カリキュラム標準にないコース、各コースの時間数、受講学生数、TA 数、プログラミング教育で採用されているプログラミング言語、プログラミング以外の実験・実習、教育のための計算機環境など) に関し、米国の情報学分野の教育研究で代表的な大学数校に対して調査を行う。特に (i) 専門教育については、「情報学分野の参照基準」との比較・検討を行う。あわせて、これらの大学の非情報系学部学科における情報教育の現状に関して調査を行う。

#### 3.1. 文献による調査

ここでは、ACM (Association for Computing Machinery)、AIS (Association for Information Systems)、IEEE-CS における最新のカリキュラム (知識の体系 (body of knowledge) およびカリキュラムの設計次元 (design dimensions) など) を収集し、J07 および情報学分野の参照基準との違いを分析・考察する

##### 3.1.1. コンピュータ科学

###### (1) J07 時点以降の進展

J07-CS は ACM と IEEE Computer Society が協同で制定したカリキュラムモデル CC2001 を大いに参考にしたものである。ACM と IEEE Computer Society は 2008 年に改訂版の CS2008 を公表したが、それは中間的な改訂版であり、その後さらに大幅に改訂し、2013 年にコンピュータ科学カリキュラム CS2013 を公表している。現時点(2017 年)での最新版である。

## (2) J07 時点の標準と現時点での標準の変化

J07 時点の標準 CC2001 と現時点の標準 CS2013 の変化について比較検討する。特に BOK (Body of Knowledge、知識体系) のユニット構成とトピックスを中心に比較し、考察する。

CS2013 の本体は全 514 ページである。本文が 54 ページであるのに対して、付録 A の BOK が 149 ページ、付録 C のコース例が 235 ページと、大部分は付録にあてられている。

BOK とは学び方ないし教え方を捨象して、学生が学ぶべき内容を定めたものである。科目ではなく BOK を与えることが CC2001 以来のカリキュラム標準の方針となっている。BOK は 3 階層をしている。エリア、ユニット、トピックスである。CS2013 の BOK はコンピューティングを学ぶために典型的な分野である 18 のエリア (知識分野) からなっている。各エリアはそれぞれ複数のユニットから構成される。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 に分類される。また、Core には Tier1 と Tier2 の区別がある。CC2001 では Core は 1 種類であり、ユニット単位でコア時間が設定されたただだったが、CS2013 ではトピックスごとに Core Tier1、Core Tier2、Elective の区別がつけられている。

CS2013 を基にコンピュータ科学のカリキュラムを構築する場合、Core Tier1 は必ずカリキュラムに含め、全受講生がその内容をカバーすることを求めている。Core Tier2 はほとんど含めるべき (90~100%) ではあるが、最低でも 80% を含めるべきだとしている。Elective は適切なレベルで含めることが求められている。Core だけしか含んでないカリキュラムは不完全だとしている。

CS2013 が CC2001 から大きく変わったのは学習到達目標 (learning outcome) に学習レベルを設けた点である。以下の三つのレベルが設けられている。

- Familiarity その概念が何か分かる。
- Usage その概念を具体的に利用、応用できる。
- Assessment その概念を様々な視点で考え、問題解決に適切なアプローチを選ぶことができる。

CS2013 の Appendix B にて、Migrating to CS2013 として CC2001 との違いをまとめている。以下に抜粋する。

技術の進歩と需要の増大に応じて、CS2013 ではトピックスの構成を変え、トピックスの数を増やした。しかし、授業の時間を増やして、より大きな知識体系に対応することは難しいと感じる大学が多いだろう。CS2013 では、カリキュラムのサイズを抑制するために、次のようなアプローチをとった。

- コアを Tier1 と Tier2 に分けた。これによって、それぞれの項目の重要度がより明確になる。
- 共通のテーマと認識されているものについて、知識エリアの構成を変えた。
- 学生に期待される知識のレベルを明確にした。Familiarity レベルとされた outcome は、Usage レベルよりも浅いカバーでよく、Usage レベルは Assessment レベルよりも浅いカバーでよい。
- それぞれのエリアのトピックスを state of the art を反映するように変えた。CS2013 は、1110 個の outcome を挙げている。そのうち半分強がコアである。Tier1 は、outcome 全体の 1/5 強になっている。outcome の半分以上が Familiarity レベル、1/3 が Usage レベルである (Assessment レベルは 1/6 程度という計算になる)。560 個のコア outcome のうち、160 以上が新しいもので、さらに 150 程度が CC2001 のものから大きく変わっている。20 を越える CC2001 のトピックスがコアからはずされた。elective になったものと、完全に削除されたものがある。結論として、CC2001 と CS2013 の違いは大きい。outcome のうちの半分ほどが新しいか、または大きく変わった。これらの多くは、CS2008 に示されていて、CS 教育の現状を反映している。カリキュラムを CS2013 ガイドラインに合わせる方向に徐々に移行している大学も多いだろう。そうでない大学は、computing の世界の情勢が大きく変わっていることに対応できているかどうか、カリキュラムを再検討すべきである。

引き続き BOK の各エリアごとの比較を行う。CS2013 と CC2001 のユニットレベルでの比較(コア時間を含む)を本項の末尾につける。また、CS2013 と CC2001 における BOK の各エリアのコア時間の比較を以下に示す。

エリア	CS2013			CC2001	増減	
	Tier1	Tier2	合計	Core		
AL	Algorithms and Complexity	19	9	28	31	-3
AR	Architecture and Organization	0	16	16	36	-20
CN	Computational Science	1	0	1	0	+1
DS	Discrete Structures	37	4	41	43	-2
GV	Graphics and Visualization	2	1	3	3	0
HCI	Human-Computer Interaction	4	4	8	8	0
IAS	Information Assurance and Security	3	6	9	—	+9
IM	Information Management	1	9	10	10	0
IS	Intelligent Systems	0	10	10	10	0
NC	Networking and Communication	3	7	10	15	-5
OS	Operating Systems	4	11	15	18	-3
PBD	Platform-based Development	0	0	0	—	0
PD	Parallel and Distributed Computing	5	10	15	—	+15
PL	Programming Languages	8	20	28	21	+7
SDF	Software Development Fundamentals	43	0	43	38	+5
SE	Software Engineering	6	22	28	31	-3
SF	Systems Fundamentals	18	9	27	—	+27
SP	Social Issues and Professional Practice	11	5	16	16	0
コア時間合計		165	143	308	280	+28

CS2013のコア時間は、Tier1の165時間とTier2の143時間を合わせて308時間であり、CC2001の280時間の1割増しになっている。しかし、CS2013ではTier2からトピックスを取捨選択してよいことにしている（ただし最低でも80%は必要）。Tier2の90%を採用すると293.7時間、80%を採用すると279.4時間となり、CC2001並みの時間でカリキュラムを実現可能である。

以下、各エリアの違いをまとめたものを示す。CS2013ではlearning outcomeを重視しているが、違いを要約することが難しいため、ここではユニット構成とトピックスの違いに限り分析した。

#### (i) AL --- Algorithms and Complexity

コア時間が31から28に減っている。Appendix Bによると、大きく変わったのはPとNPに関する内容をコアに昇格したことである。また、並列アルゴリズムの類をPDに移したことが目につく。ほかは、項目の整理や加除があるが、全体として大きく変わってはいない。

ユニットの名前がほとんどすべて変わっているが、細かな語の入れ替えがほとんどで、似た内容のユニットの対応付けは難しくない。ユニットレベルの大きな変化は、Distributed algorithms (AL4)、Cryptographic algorithms (AL9)、Geometric algorithms (AL10)、Parallel algorithms (AL11)の四つのユニットが減ったことである。



Distributed と Parallel は PD に、Cryptographic は IAS に移動したと理解できる。この三つのユニットについて理論的な扱いが十分でない恐れがある。Geometric は Advanced Data Structures Algorithms and Analysis のユニットの中に組み入れられた。

Advanced Data Structures Algorithms and Analysis は、Advanced な雑多なものを詰め込んだようなユニットになっている。増えたのは Balanced trees、Graphs、Advanced data structures、Network flows、Linear Programming、Number-theoretic algorithms、Stochastic algorithms、Approximation algorithms、Probabilistic analysis などである。

Algorithmic Strategies のユニットに Dynamic Programming が追加された、Fundamental Data Structures and Algorithms に入れ替えがあった、などの細かな変化はかなりあるが、全体として大きな違いはないと思われる。

P と NP に関するユニットにコア時間 6 が与えられた。NP 完全問題の例を示すよう求めているのは新しい。

## (ii) AR --- Architecture and Organization

ハードウェアやアーキテクチャを扱うエリアである。ユニット構成は、ほとんど変わっていない。枯れた分野であって、教える内容にそれほどの変化がないということだと思われる。ただし、コア時間が 36 から 16 に減っている点は大きな変化である。その理由として、一部の話題が SF や PD に移動されたことがある。AR のユニットの変化は、Architecture for networks and distributed systems (AR9) がなくなったことだけだが、これなどは PD に役割を譲ったことが明白である。組み合わせ回路の最適化といった論理設計の基本部分は、SF でカバーするように見直しが行われた。

コア時間減の理由には、AR の相対的な重みの低下という面もありそうだ。たとえば、命令パイプラインやマイクロプログラミングを扱う Functional organization (AR6) というユニットがあって、内容は変わっていないのだが、コア時間 7 が 0 にされているが、命令パイプラインが当たり前になり、マイクロプログラミングがほとんど死語となった現在においては妥当である。Appendix B では、AR で教える内容として、multi-core parallelism、virtual machine support、power as a constraintなどを以前よりも重視し、CAD tools の使用をトピックスに明記したことが大きな変化だとしている。

個々のトピックスを見れば、ほかにも追加されたキーワードがあるが、この分野の進歩や一般に用いられるようになったことを受けたもので、特に重要視すべきものはなさそうだ。新しいキーワードの例を挙げると、FPGA、スタックによる関数呼出しの実現、マルチプロセッサの cache consistency、vector processor、GPU などがある。

### (iii) CN --- Computational Science

CN 自体は前からあるが、フルスペルの言葉が変わっている。前は Computational Science and Numerical Methods だった。CC2001 は CN のコア時間を 0 としていて、ある意味で衝撃的だったが、今回は Introduction to Modeling and Simulation に 1 時間を割り当てている。

ユニット構成も内容も大きく変わっている。前は、数値計算が基本で、それを使ってできることを並べてあったが、今度は Modeling and Simulation が中心で、それを実現するための技術を列挙している。Appendix B では using computational power to solve problems in domains both inside and outside of traditional CS boundaries が CN の設計方針だとしている。

新旧とも Numerical Analysis のユニットがあって、内容は変わっていないが、前は最初のユニットだったものが最後のユニットになっていて、位置付けが大きく違う。Modeling and Simulation のユニットも両者に存在するが、内容はまったく違う。CC2001 では、乱数とか連続／離散シミュレーションとかの技術についてだった。CS2013 では、現実をモデリングするための各種技法を詳しく論じている。ほかに Introduction to Modeling and Simulation のユニットまで設けられている。

CC2001 にあった Operations research (CN2) や High-performance computing (CN4) のユニットはなくなった。線形計画法や待ち行列理論は Modeling and Simulation のユニットで、モデリングの技法として論じられている。スーパーコンピュータの各種応用は消えてしまったようだ。

Modeling and Simulation を支える技術として、Processing (技術的詳細)、Interactive Visualization (可視化)、Data, Information, and Knowledge (情報や知識の扱い) の三つのユニットが新設されている。

### (iv) DS --- Discrete Structures

離散数学に属する事項を扱うエリアで、内容はほとんど変わっていない。ユニット構成も同じだ。ユニットのタイトルの Functions, relations, and sets が Sets, Relations, and Functions に変わったが、言葉の順序の入れ替えだけの違いだ。

コア時間は 43 から 41 に減った。Discrete Probability のユニットのコア時間だけ増えて強化され、ほかのユニットが少しずつ減っている。

**(v) GV --- Graphics and Visualization**

GVというエリアは前からあるが、フルスペルの言葉が変わっている。前はGraphics and Visual Computingだった。コア時間は3で変わらないが、ユニット数が11から6へと五つ減った。CC2001と比べて、Graphic systems (GV2)とGraphic communication (GV3)が除かれ、Virtual reality (GV10)がHCIへ、Computer vision (GV11)がISへと移動され、

まとめ方を調整することで、五つの減となっている。つまり、CC2001では、コンピュータグラフィックス、可視化、仮想現実、コンピュータビジョンの四つの分野をカバーするとしていたが、このうちの二つを他のエリアに移動した。これに応じて、タイトルも修正された。

CGの基礎技術が強化され、レンダリング、モデリングも内容を更新している。Computer AnimationとVisualizationのユニットにも新たなトピックスが追加されている。

**(vi) HCI --- Human-Computer Interaction**

名前は変わらないが、省略形がHCからHCIに変更された。CC2001ではソフト開発に重点を置いた狭い範囲の構成であったが、CS2013では、最近ますます重要になっている設計方法と学際的なアプローチに応じて強調点が変わっている。また、CC2001ではGUIに特化していたが、CS2013はGUIは単なるUIの一つという扱いになっている。コア時間は8と同じであるが、ユニットとしては大幅な変更となっている。

前の限定的だったり、もはや古くなったユニットを整理し、ユニット名からGUIを除き、CS2013では五つのユニット Foundations、Designing Interaction、Programming Interactive Systems、User-Centered Design and Testing、および、Collaboration and Communicationにまとめあげている。さらに、五つのユニット New Interactive Technologies、Statistical Methods for HCI、Human Factors and Security、Design-Oriented HCI、および、Mixed, Augmented and Virtual Realityを新規で追加している。

**(vii) IAS --- Information Assurance and Security**

新しいエリアである。世界が情報技術に大きく依存するようになってきて、セキュリティが重要になっていることを受けて、知識体系に追加された。次の11のユニット Foundational Concepts in Security、Principles of Secure Design、Defensive Programming、Threats and Attacks、Network Security、Cryptography、Web Security、Platform Security、Security Policy and Governance、Digital Forensics、および Secure

Software Engineering からなっている。

全部でコア時間 9 が割り当てられているが、更に、他の知識体系に 63.5 時間分が分散配置されていると書いてある。つまり、他のユニットのトピックスとして、あるいは、補助的なユースケースとして取り扱われるものだとされているが、あまり明確には示されていない。9 時間ではコアの内容を教えきれそうにない。また、理解しやすい構成になっていない。コア以外の部分は大学院レベルで、無理なものがありそうである。このエリアは進歩が速いので、すでに追加が必要な項目が出ている。暗号によりすぎて、重点がずれている。本調査研究を行った時点では、ウェブアプリの脆弱性が大きな社会的・技術的な問題となっているが、これを扱うトピックスがどこにもないのは困る。

#### (viii) IM --- Information Management

データベースをはじめとする情報管理についてのエリアである。コア時間 10 は変わらない。ただし、Tier1 は 1 時間のみで、残り 9 時間は Tier2 である。

CC2001 では 14 ユニットあったが、Relational databases に関する二つのユニットが一つに統合され、Hypertext and hypermedia (IM12) と Digital libraries (IM14) が除かれ、その代わりに、Indexing ユニットが追加されて、都合 2 ユニット減である。オブジェクト指向が消えて、semistructured data(XML)が入った。

Indexing ユニットが新設されたことから、CS2013 では、かなり早くから index を意識させる方針をとっているようだ。CC2001 では、実現に関するものは Physical database design (IM9) で初めて述べる構成だった。情報検索を重視したものと思える。

#### (ix) IS --- Intelligent Systems

いわゆる人工知能に関する事項を扱うエリアである。コア時間は 10 のまま変わっていない。ほとんどは elective な内容にとらえられているようだ。

Fundamental Issues のユニットは、概論に過ぎないが、内容が総入れ替えになっている。IS の技術をどう応用するかという観点でまとめ直したようだ。

Appendix B によると、Machine Learning に重きを置いたのが大きな違いだそう。実際、Basic Machine Learning のユニットが純増になっていて、概論的な内容を取り上げている。これのコア時間は 2 である。技術的な詳細は、Advanced Machine Learning のユニットで述べていて、すべて elective だが、内容は従来のものからかなり強化されている。

Search と Knowledge Representation は、古典的な IS の項目であって、新旧ともに Basic と Advanced の二つずつのユニットがあてられている。Basic の内容はほとんど変わって

いないが、Advanced の内容は全面的に再編されている。

AI planning systems (IS9) というユニットがなくなったが、その内容は Advanced Representation and Reasoning に吸収されている。

Reasoning Under Uncertainty と Perception and Computer Vision の二つのユニットが新設された。機械学習を使うためにマルチメディアとの関係性が必要だからだろう。

Agents と Natural Language Processing の二つのユニットは、従来と同じ方針でまとめられている。後者は、それぞれの項目がかなり詳細化されているようだ。

Neural networks が落ち、deep learning はまだ入っていない。

#### (x) NC --- Networking and Communication

CC2001 にも NC というエリアがあるが、Net-Centric Computing の略だった。同じ略語のまま、エリアのタイトルを変えている。ネットワークと通信の重要性が増していることは確かで、新しいタイトルが自然だと思われる。タイトルの変更は、視点の変更も意味する。エリア内のユニット構成は大幅に変わった。その一つの現れとして、ユニットのタイトルで CC2001 と CS2013 で同じものは一つもない。

コア時間は 15 から 10 に減っている。web application や mobile device に関する話題は PBD に移り、セキュリティは IAS に移った。

Appendix B によれば、NC で教える内容の変化は、IP と Ethernet ネットワークの比較や wireless networking をより重要視し、reliable delivery や implementation of protocols and applications をカバーするようになったことである。

全体として、web application 中心だった構成から、よりバランスのよい構成になったように見える。CC2001 の時は、分野の揺籃期であり、まだ編成方針に確たるものがなかったということだと思われる。

CC2001 のユニットのうち、次のものがなくなった。Network security (NC3)、The web as an example of client-server computing (NC4)、Building web applications (NC5)、Network management (NC6)、Compression and decompression (NC7)、Multimedia data technologies (NC8)、Wireless and mobile computing (NC9)。このうち、Wireless and mobile computing は CS2013 の Mobility に対応するかも知れない。ほかは、元々 elective だったこともあって、他のエリアに部分的に移す程度の対応になっている。

ほかに CS2013 の NC から削除されたトピックスには、ネットワークの歴史、ISO 7-layer reference model、標準化、remote procedure call などがある。

新しいユニットのうちの四つは、レイヤーの上から四つに対応している。Networked Applications、Reliable Data Delivery、Routing and Forwarding、Local Area Networks

である。

ほかに新しいユニットは次の三つである。Resource Allocation、Mobility、Social Networking。Social networking をユニットのレベルで取り上げるのはどうであろうか。

#### (xi) OS --- Operating Systems

コア時間が 18 から 15 に減った。OS エリアは SF、NC、IAS、PD エリアと相補的である。システム管理は Computer Science ではなくて Information Technology だとも言われるが、すべての学生は基本の管理行動ができるべきだとしていて、セキュリティと保護はコアに含め、仮想記憶の実現は選択に移している。デッドロックの詳細は PD へ移動した。

Overview of operating systems (OS1) では、History of operating system development がなくなった。Concurrency (OS3) は大幅に減らされ、減った分は PD へ移された。プログラマの視点からの並行プログラミングを削って、OS の implementation に限ったということだと思われる。

Memory management (OS5) も減らされた。仮想記憶に関することは AR でカバーするという方針なのだろうか。その代わりに、Virtual Machines のユニットが追加された。Paging and virtual memory もこのユニットのトピックスになっている。仮想化という観点でまとめ直したものの中に仮想記憶も含めたようだ。まとめ方に問題はないか。

Security and protection (OS7) は縮小したが、一方でコア時間が与えられた。IAS が新設されたので、Encryption などの詳細はそちらに移したのだと思われる。OS としての最小限のものに限ったということだろう。

Scripting (OS12) は削除された。

学問としてのまとまりを重視しているが、実際の講義ではどうか。キーワードの書き方が雑多な印象である。

#### (xii) PBD --- Platform-Based Development

新しいエリアである。特定のソフトウェアプラットフォームに常駐したソフトウェアアプリケーションの設計、開発に関わるものである。

汎用のプログラミングと違い、プラットフォームベースの開発にはプラットフォーム特有の制約がある。たとえば、ウェブプログラミング、マルチメディア開発、モバイルコンピューティング、アプリ開発、ロボティクスは開発に制約のある特定のサービス/API/ハードウェアを提供するプラットフォームの例である。

五つのユニット Introduction、Web Platforms、Mobile Platforms、Industrial Platforms、および、Game Platforms からなる。いずれも elective であり、コア時間は

ない。現実的な必要性から導入されたもので、コアとして採用するまでにはいたっていないのだと思われる。実習的な性格の内容と思われ、演習科目で対応するか、時代にに応じて変わっていくものと思われる。

#### (xiii) PD --- Parallel and Distributed Computing

C2001 では、並列分散に関する話題がいくつかのエリアに分散していて、しかもすべて elective だった。それを一つにまとめた上でコア時間 15 を割り当てた。この扱いが必要になるほど、分野の重要度が増しているという判断があった。

Parallel and Distributed Computing という切り口で切っているため、取り上げるテーマはさまざまである。programming models、programming pragmatics、algorithms、performance、computer architecture、distributed systems などのテーマが含まれている。

九つのユニット Parallelism Fundamentals、Parallel Decomposition、Communication and Coordination、Parallel Algorithms, Analysis, and Programming、Parallel Architecture、Parallel Performance、Distributed Systems、Cloud Computing、および、Formal Models and Semantics からなっている。

#### (xiv) SDF (旧 PF) --- Software Development Fundamentals

PF (Programming Fundamentals) が改訂されて、名前も変わった。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、PF (プログラミング入門) が元になっているが、AL から基本解析部分を、SE から開発過程を、DS から基本データ構造を、PL からプログラミング言語概念を取り込んでいる。特定のプログラミングパラダイムに特有の部分は、一律な扱いのために、PL に移している。これらにより、コア時間が 38 から 43 に増強されている。

Algorithms and problem-solving (PF2) は SDF の Algorithms and Design に移ったが、コア時間 6 から 11 に大幅増となった。abstraction、program decomposition、アルゴリズムの役割など、基本的事項をみっちり教える趣旨のようだ。

Fundamental data structures (PF3) は SDF の Fundamental Data Structures に対応するが、実装関連の話が削除された。2 時間の減少になっている。

Recursion (PF4) は、SDF の Fundamental Programming Concepts、Algorithms and Design のほか、AL の Algorithmic Strategies、PL の Language Transition and Execution にそれぞれ一部が移され、単独のユニットではなくなった。Event-driven programming (PF5) も、PL に移された。

新しいユニットの Development Methods は、開発に関する基本的な部分として、Software design (SE1、コア 8 時間)、Software processes (SE4、コア 2 時間)、Software evolution (SE7、コア 3 時間) から内容を取り込んだもので、コア 10 時間になっている。

#### (xv) PL --- Programming Languages

プログラミング言語を扱うエリアである。構成が大きく変わった。コア時間が 21 から 28 に増えている。ユニット数が 11 から 17 に増えている。教える内容も強化されていて、何から何まで変わってしまったという印象だ。

最初の二つのユニットがオブジェクト指向と関数型言語で、この二つに大半のコア時間を割り当てている。特に、関数型は従来は elective だったものに 7 時間をあてている。エリア全体のコア時間増のすべてを食っている勘定だ。従来は古典的な手続き型言語を中心とするまとめ方だったが、今回は mutable state のない言語に力点を置いたとしている。

かなり大きな変化だが、その背景にはプログラミング言語の専門家集団による働きかけがあったらしい。

三つ目のユニットは、Event-Driven and Reactive Programming で、これは CC2001 の PF5 (Event-driven programming) を移転したものだ。

このほかのユニットも変化が大きく、トピックレベルの比較はとてもできない。以下、ユニット名レベルの比較にとどめる。言語の種別ごとの議論のユニットは、二つから四つに増えている。オブジェクト指向と関数型は変わらないが、上述の Event-Driven …のほかに論理型言語が増えている。前は論理型を扱うユニットはなかった。

プログラミング言語総論のようなユニットは、三つから一つに減った。Virtual machines (PL2) と Programming language design (PL11) がなくなって、Language Pragmatics だけになった。

意味論のユニットは一つで変わらない。

個別の言語仕様を扱うユニットは、三つから四つになった。このうち Type Systems のユニットが一つ増えた (Basic Type Systems の追加)。Declarations and types (PL4) と Abstraction mechanisms (PL5) がなくなって、Advanced Programming Constructs と Concurrency and Parallelism が追加された。

言語処理系に関するユニットは、二つから七つに増えた。前は Language translation の Introduction (PL3) と system (PL8) の二つだったが、言語処理のフェーズごとに詳しい議論をするユニットが設けられた。新しいユニットは、Program Representation、Language Translation and Execution、Syntax Analysis、Compiler Semantic Analysis、



Code Generation、Runtime Systems、Static Analysis である。プログラム解析や garbage collection などが取り上げられている。

#### (xvi) SE --- Software Engineering

ソフトウェア、およびシステムを作る技術を扱うエリアである。コア時間が 31 から 27 に減った。コア時間の減少分 4 は、Using APIs (SE2、コア 5 時間)、Component-based computing (SE9) が SDF に移動されたことによる。また、Specialized system development (SE12) は、リアルタイムシステム、分散システムなどを紹介するユニットであったが、削除された。ただし、様々なカリキュラムの中で、これらの特別なシステムが技術に与えている影響を教員、学生双方とも理解する必要があると、SE の前書きに明記された。新たに追加されたユニットは Software Construction である。これにはコーディング技術、変更の影響分析などが含まれており、SDF の Development Methods と内容が重複している。そのほか、SDF の 9 コア時間分が SE と重複することとなった。

SE でも個々のトピックスを見れば、追加されたキーワードがあるが、全体的に内容を詳細化し、ユニットの範囲を明記したものであり、CC2001 との対応がとれないほどの変化はない。分野の進歩を受けた変化の中には、リファクタリング、および開発工程間の関係の追加、テスト方法と内容の拡充がある。これらは、新規開発を前提としていた従来のカリキュラムを、既存システムの改変を前提として信頼性の向上を目指すという世の中の要請を考慮したものと考えられる。特筆すべき興味深い点は、保守性 (maintainable) という用語は残されているものの、保守 (maintenance) という単語がユニットのトピックスから消え、evolution が使われるようになったことである。また、CMMI の普及に伴い選択トピックスではあるが、Software Process に能力成熟度の概念が追加された。

#### (xvii) SF --- Systems Fundamentals

新しいエリアである。ハードから OS を経由してアプリケーションに到るまでをシステムという観点でまとめたとしている。AR、NC、OS、PD などに分散していたテーマをまとめた。統一的な視点は programming for performance だとしている。

10 のユニット Computational Paradigms、Cross-Layer Communications、State and State Machines、Parallelism、Evaluation、Resource Allocation and Scheduling、Proximity、Virtualization and Isolation、Reliability through Redundancy、および、Quantitative Evaluation からなる。

コア時間が合計 27 与えられている。項目の大半に AR、OS、PD などへの cross reference

がある。このエリアの新設の経緯から見て当然だが、別の見方をすれば、完全に独立したエリアになっていないとも言える。ユニット間のレベルの不統一が激しい。

### (xviii) SP --- Social Issues and Professional Practice

CC2001では Social and Professional Issues という名前だった。コア時間は 16 で変わらない。

CC2001の Risks and liabilities of computer-based systems (SP5) は一部のみを扱い、Philosophical frameworks (SP10) は削除された。その代わりに、HCI や SE と関連する Professional Communication と Sustainability が新規にコアとして増えた。

History はコアからはずれた。トピックスが増えたユニットが多いが、特に、Intellectual Property と Economies of Computing が大幅に増加した。

### (3) サイバーセキュリティ・データサイエンスの位置付け

サイバーセキュリティは CS2013 のエリア IAS (Information Assurance and Security) が対応している。コア時間が 3+6 である。対応ユニットは、以下のとおりである。

- IAS/Foundational Concepts in Security (1+0)
- IAS/Principles of Secure Design (1+1)
- IAS/Defensive Programming (1+1)
- IAS/Threats and Attacks (0+1)
- IAS/Network Security (0+2)
- IAS/Cryptography (0+1)
- IAS/Web Security
- IAS/Platform Security
- IAS/Security Policy and Governance
- IAS/Digital Forensics
- IAS/Secure Software Engineering

このエリアは CS2013 で新設されたものであり、今日ではコンピュータ科学の 1 エリアとして重要という理解である。J17 においても導入すべきである。

データサイエンスについては、最近流行りのビッグデータの扱いのことと考えると、エリア IM (Information Management) のユニット IM/Data Mining が対応していると思われる。

また、機械学習、可視化という点では、エリア CN (Computational Science) のユニット Interactive Visualization や Data, Information, and Knowledge、エリア GV (Graphics

and Visualization)のユニット Visualization、また、エリア IS(Intelligent Systems)の Machine Learning 関連のユニットに関連性がある。ビッグデータを扱うためには、エリア PD(Parallel and Distributed Computing)にも関連する。まずはデータサイエンスの定義をはっきりさせることが肝心である。

データサイエンスは対応する分野が多岐にわたるため、それをまとめたエリアとして J17 で扱うのはなんらかの工夫が必要であろう。J07 ではエリアは階層的構造になっていたが、いくつかのエリアに属するユニットを複数のエリアで共有するような構造を入れる必要があるだろう。

#### (4) J17 策定へ向けて

J07 は色々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。日本の情報学科の半分は理工系以外であるとの調査結果により、理工系でないところへのケアも必要である。情報系の基礎にあたる分野 (CS 基礎 (仮称)) を作る必要があるかもしれない。

J17 の CS 分野について考えると、J07-CS は良く利用されたが、BOK の他に作成した授業の構成案が結構利用されたとのことである。J17 も授業の構成案を作るかどうかは議論すべきことであるが、必要なら策定する。それをさらに細分化した、Learning Unit については、作業量とその効果から考えて、保留とする。

J17 の BOK は J07 と CS2013 の両方から取捨選択する。主に CS2013 を使うが、J07 で導入したエリアについては、継続する可能性を残す。具体的にはエリア MR である。

エリア OS が顕著であるが、ユニットのいくつかは他の新設エリアに移籍され、エリア OS を単独でみた場合、まとまりが悪くなっている。エリア構成を変更するか、ユニットの共有を許すやりかたも考えられる。一つのユニットが二つ以上のエリアに属するようにするのである。これについては更なる検討が必要である。

CS2013 にて新設されたエリアについては、J07 との対応も考えながら、慎重に対応すべきであろう。

以下、表 3.1.1-1～表 3.1.1-4 に CS2013 と CC2001 のユニットレベルでの比較を示す。

表 3. 1. 1-1 CS2013 と CC2001 のユニットレベルでの比較(1)

ユニットの終わりにある括弧はコア時間である。Tier1, Tier2 の時間を (Tier1+Tier2) と表記している。

CS2013 ユニット	CC2001 ユニット
<b>AL. Algorithms and Complexity (19+9)</b> AL/Basic Analysis (2+2) AL/Algorithmic Strategies (5+1) AL/Fundamental Data Structures and Algorithms (9+3) AL/Basic Automata Computability and Complexity (3+3) AL/Advanced Computational Complexity AL/Advanced Automata Theory and Computability AL/Advanced Data Structures Algorithms and Analysis	<b>AL. Algorithms and Complexity (31)</b> AL1. Basic algorithmic analysis (4) AL2. Algorithmic strategies (6) AL3. Fundamental computing algorithms (12) AL4. Distributed algorithms (3) AL5. Basic computability (6) AL6. The complexity classes P and NP AL7. Automata theory AL8. Advanced algorithmic analysis AL9. Cryptographic algorithms AL10. Geometric algorithms AL11. Parallel algorithms
<b>AR. Architecture and Organization (0+16)</b> AR/Digital Logic and Digital Systems (0+3) AR/Machine Level Representation of Data (0+3) AR/Assembly Level Machine Organization (0+6) AR/Memory System Organization and Architecture (0+3) AR/Interfacing and Communication (0+1) AR/Functional Organization AR/Multiprocessing and Alternative Architectures AR/Performance Enhancements	<b>AR. Architecture and Organization (36)</b> AR1. Digital logic and digital systems (6) AR2. Machine level representation of data (3) AR3. Assembly level machine organization (9) AR4. Memory system organization and architecture (5) AR5. Interfacing and communication (3) AR6. Functional organization (7) AR7. Multiprocessing and alternative architectures (3) AR8. Performance enhancements AR9. Architecture for networks and distributed systems
<b>CN. Computational Science (1+0)</b> CN/Introduction to Modeling and Simulation (1+0) CN/Modeling and Simulation CN/Processing CN/Interactive Visualization CN/Data, Information, and Knowledge CN/Numerical Analysis	<b>CN. Computational Science and Numerical Methods (0)</b> CN1. Numerical analysis CN2. Operations research CN3. Modeling and simulation CN4. High-performance computing
<b>DS. Discrete Structures (37+4)</b> DS/Sets, Relations, and Functions (4+0) DS/Basic Logic (9+0) DS/Proof Techniques (10+1) DS/Basics of Counting (5+0) DS/Graphs and Trees (3+1) DS/Discrete Probability (6+2)	<b>DS. Discrete Structures (43)</b> DS1. Functions, relations, and sets (6) DS2. Basic logic (10) DS3. Proof techniques (12) DS4. Basics of counting (5) DS5. Graphs and trees (4) DS6. Discrete probability (6)
<b>GV. Graphics and Visualization (2+1)</b> GV/Fundamental Concepts (2+1) GV/Basic Rendering GV/Geometric Modeling GV/Advanced Rendering GV/Computer Animation GV/Visualization	<b>GV. Graphics and Visual Computing (3)</b> GV1. Fundamental techniques in graphics (2) GV2. Graphic systems (1) GV3. Graphic communication GV4. Geometric modeling GV5. Basic rendering GV6. Advanced rendering GV7. Advanced techniques GV8. Computer animation GV9. Visualization GV10. Virtual reality GV11. Computer vision

表 3. 1. 1-2 CS2013 と CC2001 のユニットレベルでの比較(2)

CS2013 ユニット	CC2001 ユニット
<b>HCI. Human-Computer Interaction (4+4)</b> HCI/Foundations (4+0) HCI/Designing Interaction (0+4) HCI/Programming Interactive Systems HCI/User-Centered Design and Testing HCI/New Interactive Technologies HCI/Collaboration and Communication HCI/Statistical Methods for HCI HCI/Human Factors and Security HCI/Design-Oriented HCI HCI/Mixed, Augmented and Virtual Reality	<b>HC. Human-Computer Interaction (8)</b> HC1. Foundations of human-computer interaction (6) HC2. Building a simple graphical user interface (2) HC3. Human-centered software evaluation HC4. Human-centered software development HC5. Graphical user-interface design HC6. Graphical user-interface programming HC7. HCI aspects of multimedia systems HC8. HCI aspects of collaboration and communication
<b>IAS. Information Assurance and Security (3+6)</b> IAS/Foundational Concepts in Security (1+0) IAS/Principles of Secure Design (1+1) IAS/Defensive Programming (1+1) IAS/Threats and Attacks (0+1) IAS/Network Security (0+2) IAS/Cryptography (0+1) IAS/Web Security IAS/Platform Security IAS/Security Policy and Governance IAS/Digital Forensics IAS/Secure Software Engineering	
<b>IM. Information Management (1+9)</b> IM/Information Management Concepts (1+2) IM/Database Systems (0+3) IM/Data Modeling (0+4) IM/Indexing IM/Relational Databases IM/Query Languages IM/Transaction Processing IM/Distributed Databases IM/Physical Database Design IM/Data Mining IM/Information Storage and Retrieval IM/Multimedia Systems	<b>IM. Information Management (10)</b> IM1. Information models and systems (3) IM2. Database systems (3) IM3. Data modeling (4) IM4. Relational databases IM5. Database query languages IM6. Relational database design IM7. Transaction processing IM8. Distributed databases IM9. Physical database design IM10. Data mining IM11. Information storage and retrieval IM12. Hypertext and hypermedia IM13. Multimedia information and systems IM14. Digital libraries
<b>IS. Intelligent Systems (0+10)</b> IS/Fundamental Issues (0+1) IS/Basic Search Strategies (0+4) IS/Basic Knowledge Representation and Reasoning (0+3) IS/Basic Machine Learning (0+2) IS/Advanced Search IS/Advanced Representation and Reasoning IS/Reasoning Under Uncertainty IS/Agents IS/Natural Language Processing IS/Advanced Machine Learning IS/Robotics IS/Perception and Computer Vision	<b>IS. Intelligent Systems (10)</b> IS1. Fundamental issues in intelligent systems (1) IS2. Search and constraint satisfaction (5) IS3. Knowledge representation and reasoning (4) IS4. Advanced search IS5. Advanced knowledge representation and reasoning IS6. Agents IS7. Natural language processing IS8. Machine learning and neural networks IS9. AI planning systems IS10. Robotics

表 3. 1. 1-3 CS2013 と CC2001 のユニットレベルでの比較(3)

CS2013 ユニット	CC2001 ユニット
<b>NC. Networking and Communication (3+7)</b> NC/Introduction (1.5+0) NC/Networked Applications (1.5+0) NC/Reliable Data Delivery (0+2) NC/Routing and Forwarding (0+1.5) NC/Local Area Networks (0+1.5) NC/Resource Allocation (0+1) NC/Mobility (0+1) NC/Social Networking	<b>NC. Net-Centric Computing (15)</b> NC1. Introduction to net-centric computing (2) NC2. Communication and networking (7) NC3. Network security (3) NC4. The web as an example of client-server computing (3) NC5. Building web applications NC6. Network management NC7. Compression and decompression NC8. Multimedia data technologies NC9. Wireless and mobile computing
<b>OS. Operating Systems (4+11)</b> OS/Overview of Operating Systems (2+0) OS/Operating System Principles (2+0) OS/Concurrency (0+3) OS/Scheduling and Dispatch (0+3) OS/Memory Management (0+3) OS/Security and Protection (0+2) OS/Virtual Machines OS/Device Management OS/File Systems OS/Real Time and Embedded Systems OS/Fault Tolerance OS/System Performance Evaluation	<b>OS. Operating Systems (18)</b> OS1. Overview of operating systems (2) OS2. Operating system principles (2) OS3. Concurrency (6) OS4. Scheduling and dispatch (3) OS5. Memory management (5) OS6. Device management OS7. Security and protection OS8. File systems OS9. Real-time and embedded systems OS10. Fault tolerance OS11. System performance evaluation OS12. Scripting
<b>PBD. Platform-Based Development (0+0)</b> PBD/Introduction PBD/Web Platforms PBD/Mobile Platforms PBD/Industrial Platforms PBD/Game Platforms	
<b>PD. Parallel and Distributed Computing (5+10)</b> PD/Parallelism Fundamentals (2+0) PD/Parallel Decomposition (1+3) PD/Communication and Coordination (1+3) PD/Parallel Algorithms, Analysis, and Programming (0+3) PD/Parallel Architecture (1+1) PD/Parallel Performance PD/Distributed Systems PD/Cloud Computing PD/Formal Models and Semantics	
<b>PL. Programming Languages (8+20)</b> PL/Object-Oriented Programming (4+6) PL/Functional Programming (3+4) PL/Event-Driven and Reactive Programming (0+2) PL/Basic Type Systems (1+4) PL/Program Representation (0+1) PL/Language Translation and Execution (0+3) PL/Syntax Analysis PL/Compiler Semantic Analysis PL/Code Generation PL/Runtime Systems PL/Static Analysis PL/Advanced Programming Constructs PL/Concurrency and Parallelism PL/Type Systems PL/Formal Semantics PL/Language Pragmatics PL/Logic Programming	<b>PL. Programming Languages (21)</b> PL1. Overview of programming languages (2) PL2. Virtual machines (1) PL3. Introduction to language translation (2) PL4. Declarations and types (3) PL5. Abstraction mechanisms (3) PL6. Object-oriented programming (10) PL7. Functional programming PL8. Language translation systems PL9. Type systems PL10. Programming language semantics PL11. Programming language design

表 3.1.1-4 CS2013 と CC2001 のユニットレベルでの比較(4)

CS2013 ユニット	CC2001 ユニット
<b>SDF. Software Development Fundamentals (43+0)</b> SDF/Algorithms and Design (11+0) SDF/Fundamental Programming Concepts (10+0) SDF/Fundamental Data Structures (12+0) SDF/Development Methods (10+0)	<b>PF. Programming Fundamentals (38)</b> PF1. Fundamental programming constructs (9) PF2. Algorithms and problem-solving (6) PF3. Fundamental data structures (14) PF4. Recursion (5) PF5. Event-driven programming (4)
<b>SE. Software Engineering (6+21)</b> SE/Software Processes (2+1) SE/Software Project Management (0+2) SE/Tools and Environments (0+2) SE/Requirements Engineering (1+3) SE/Software Design (3+5) SE/Software Construction (0+2) SE/Software Verification and Validation (0+4) SE/Software Evolution (0+2) SE/Software Reliability (0+1) SE/Formal Methods	<b>SE. Software Engineering (31)</b> SE1. Software design (8) SE2. Using APIs (5) SE3. Software tools and environments (3) SE4. Software processes (2) SE5. Software requirements and specifications (4) SE6. Software validation (3) SE7. Software evolution (3) SE8. Software project management (3) SE9. Component-based computing SE10. Formal methods SE11. Software reliability SE12. Specialized systems development
<b>SF. Systems Fundamentals (18+9)</b> SF/Computational Paradigms (3+0) SF/Cross-Layer Communications (3+0) SF/State and State Machines (6+0) SF/Parallelism (3+0) SF/Evaluation (3+0) SF/Resource Allocation and Scheduling (0+2) SF/Proximity (0+3) SF/Virtualization and Isolation (0+2) SF/Reliability through Redundancy (0+2) SF/Quantitative Evaluation	
<b>SP. Social Issues and Professional Practice (11+5)</b> SP/Social Context (1+2) SP/Analytical Tools (2+0) SP/Professional Ethics (2+2) SP/Intellectual Property (2+0) SP/Privacy and Civil Liberties (2+0) SP/Professional Communication (1+0) SP/Sustainability (1+1) SP/History SP/Economies of Computing SP/Security Policies, Laws and Computer Crimes	<b>SP. Social and Professional Issues (16)</b> SP1. History of computing (1) SP2. Social context of computing (3) SP3. Methods and tools of analysis (2) SP4. Professional and ethical responsibilities (3) SP5. Risks and liabilities of computer-based systems (2) SP6. Intellectual property (3) SP7. Privacy and civil liberties (2) SP8. Computer crime SP9. Economic issues in computing SP10. Philosophical frameworks

### 3.1.2 情報システム

#### (1) J07 時点以降の進展

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。

IS 2002 以降、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、IS 2010 (IS 2010 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems) を策定している。IS 2002 は IS' 97 のマイナーバージョンアップという位置づけに対して、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) の策定が進んでいる。2017 年 3 月 9 日現在、出版前の最終段階に近いドキュメントが公開されている。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。

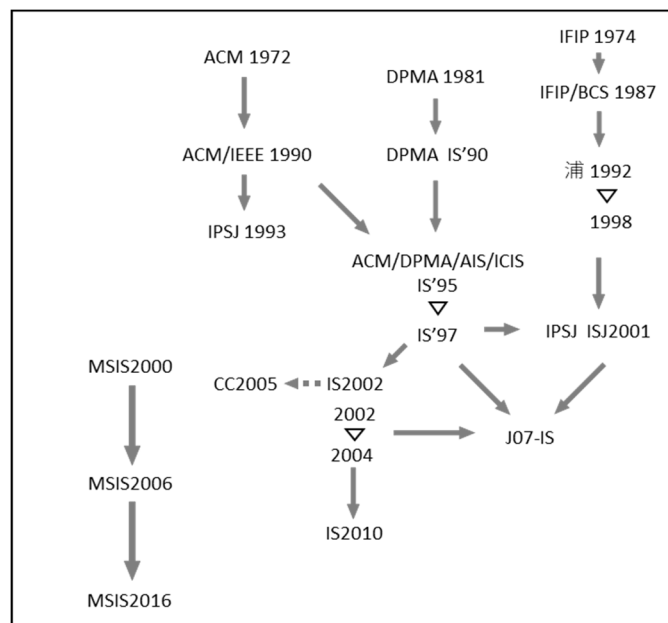


図 3.1.2-1 情報システム (IS) に関するカリキュラムモデルの変遷

「“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



## (2) J07 時点の標準と現時点での標準の変化

### (a) IS 2002 から IS 2010 への変化

IS 2010 (IS 2010 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems) が、IS 2002 (IS 2002 Model Curriculum and Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems) からどのような改訂がなされているか述べる。

IS 2010 のカリキュラム設計の原則は次の通りである。

- ① 情報システム (IS) コミュニティからのコンセンサスを表すべきである。
- ② IS プログラムが、仕事の場所での責務や、さらなる IS の学習に相応しい、有能なエントリーレベルの卒業生を生み出すことを助けられるように、モデルカリキュラムは設計されるべきである。
- ③ ガイドすべきであり、規定するものではない。モデルカリキュラムガイドラインを用いることで、教員は自らのコースを設計できるし、教育機関は自らのプログラムを設計できる。
- ④ 健全な教育方法に基づき、IS の教員によって考慮の対象となるようにならなければならない。
- ⑤ 柔軟で、多くの IS プログラムに適応できなければならない。
- ⑥ ある特定の領域に制限するものではない。
- ⑦ すべての IS プログラムは国際的に共通するコアの内容を持つ。
- ⑧ コアと選択の内容の両方を必要とする、複数のキャリアのターゲットを持つ。
- ⑨ 教授法に関する問題には焦点を当てない。

IS 2010 では、IS の専門性について、次の仮定を置いている。

- ① IS の専門家は、幅広い領域に存在する。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 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。特に以下の 2 点

が重要である。

① ビジネスの領域に限定されないようにする。

IS 2002 では、ビジネスの領域知識は必須であった。IS の主たる領域はビジネスであるが、その枠を超えて、多様な領域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。

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領域知識・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開拓すること
- 情報の要求を理解し、位置づけること
- 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制御すること

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
- 当該ドメインの一般的なモデル
  - 当該ドメイン内の鍵となる専門性
  - 当該ドメイン内のパフォーマンス評価

以上に示した能力を達成するようなコースを示している。

#### (b) IS 2010 と J07-IS とのコースに関する比較

IS 2010 で示されているコースを、J07-IS と比較して述べる。

J07-IS は、図 3.1.2-2 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、モデルコースをLUの集まりとして示している。

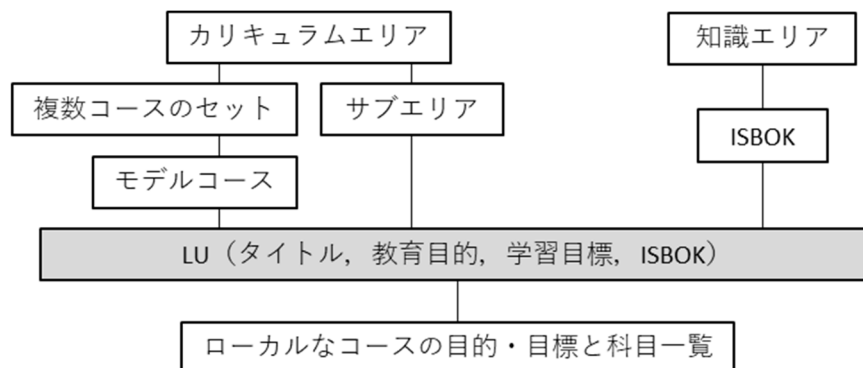


図 3.1.2-2 J07-IS のカリキュラムの仕組み

「“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

J07-IS で示されたモデルコースは、図 3.1.2-3 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。

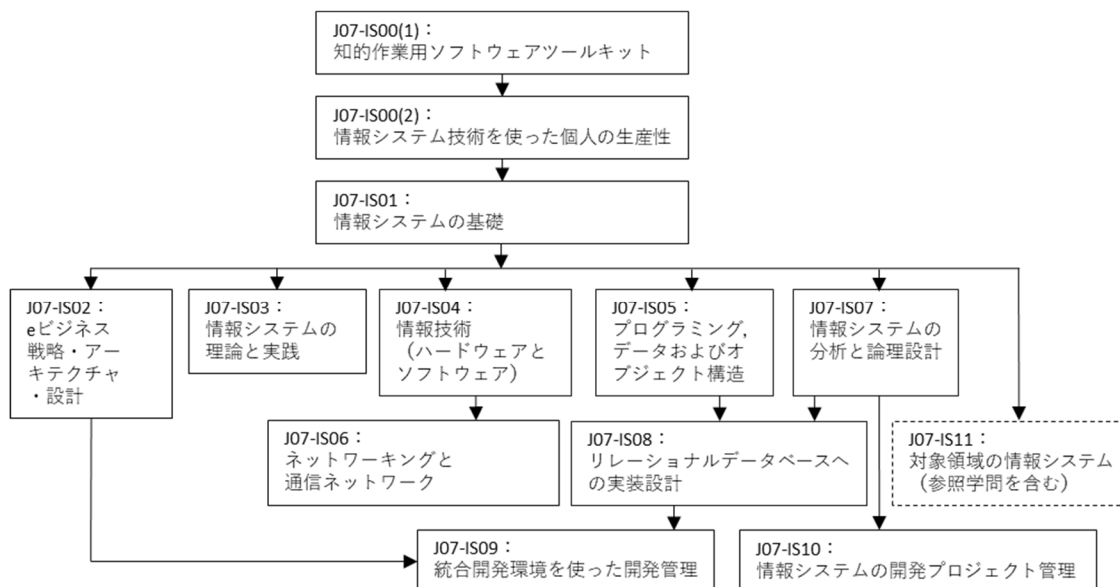


図 3.1.2-3 J07-IS のモデルコース

「“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

一方、IS 2010 のコースは、他の Computing Curriculum Volume と同様に、図 3.1.2-4 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。

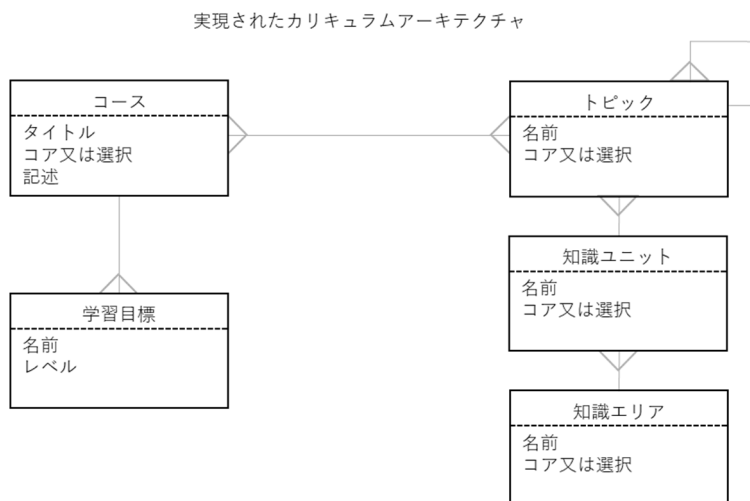


図 3.1.2-4 IS 2010 のカリキュラム構造

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 3.1.2-5 である。

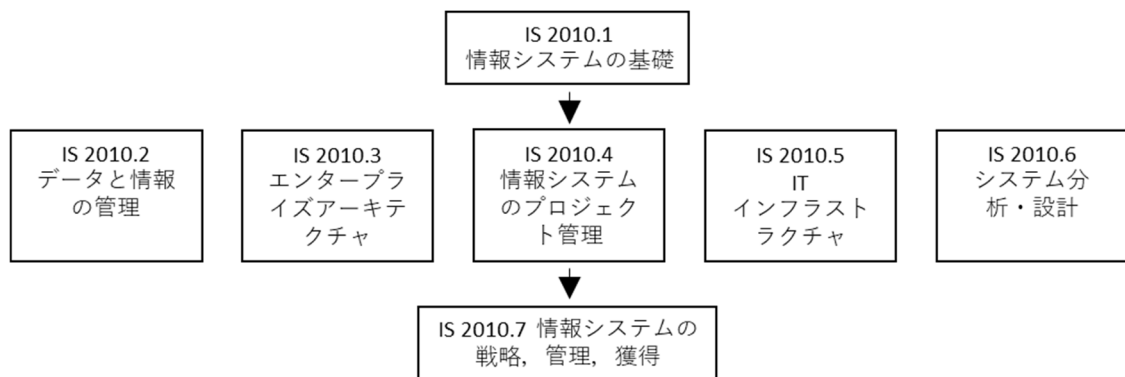


図 3.1.2-5 IS 2010 のコアコース

IS 2010 の Figure 7 をもとに作成

IS 2010 のコアコースは、J07-IS の元となる 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カリキュラムには入らない。
- 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、情報システムプロジェクト管理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。「データと情報の管理」、「システム分析・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 を取り入れることが容易にできるようになっている。コア以外のコース内容は、選択コースとして、IS 2010 では以下に示す代表的な事例をあげている。

- 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 監査と制御
- 情報システムの変革と新技術
- IT セキュリティとリスク管理

	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コンサルタント	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	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
情報システムの戦略、管理、獲得	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
データと情報の管理	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
システム分析・設計	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ITインフラストラクチャ	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
情報システムのプロジェクト管理	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
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・制御	○		●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ITセキュリティ・リスク管理	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ナレッジマネジメント		●		○		○	○			○							
社会情報学													○		○		

- = 重要な範囲
- = 部分的な範囲
- 空白 = 必要ではない

図 3.1.2-6 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

上の図 3.1.2-6 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。

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「データと情報の管理(IS 2010.2)」、「エンタープライズアーキテクチャ(IS 2010.3)」、「情報システムの戦略、管理、獲得(IS 2010.7)」を学ぶことが示されている。

### (c) 修士レベルのカリキュラムモデル MSIS 2016

MSIS 2016 は、コンピテンシーの集まりを定義されているのが特徴である。コンピテンシーは、図 3.1.2-7 に示すような構造を持っている。核となるコンピテンシーの副領域は、IS 2010 と同じ領域を示している。

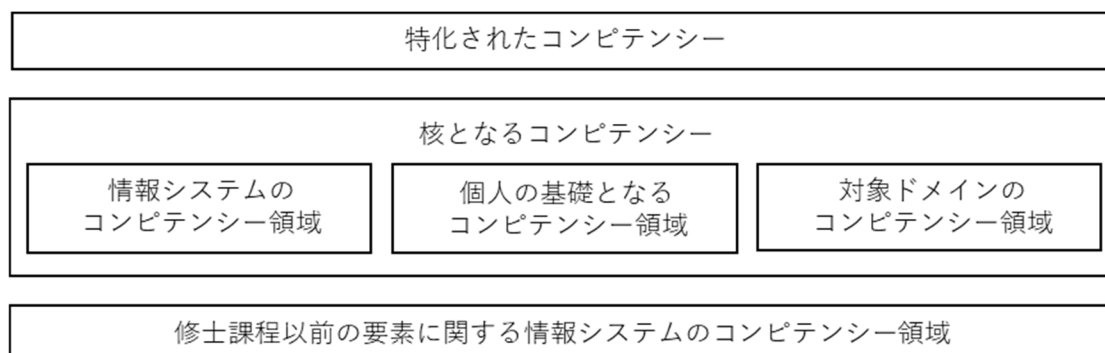


図 3.1.2-7 MSIS 2016 で示されているコンピテンシーの構造

MSIS 2016 の Figure 3 をもとに追加・修正

コンピテンシー領域は、コンピテンシーカテゴリーの集まりとなっている。核となるコンピテンシーの3つの領域は、IS 2010 と同じである。

修士入学以前に IS の専門課程で学んでいない学生のために、「修士課程以前の要素に関する情報システムのコンピテンシー領域」が示されており、その内容として、

- データ、情報、コンテンツの管理
- IT インフラストラクチャ

- 情報システムの管理とオペレーション
- システムの開発と配備
- 組織における情報システムの役割

があげられている。

特化されたコンピテンシーには、より高度な、情報システムに関連するコンピテンシーが想定されている。

情報システムのコンピテンシー領域は、図 3.1.2-8 に示すとおり、9 個のコンピテンシー領域から構成されており、それに含まれるコンピテンシーカテゴリは 88 個ある。

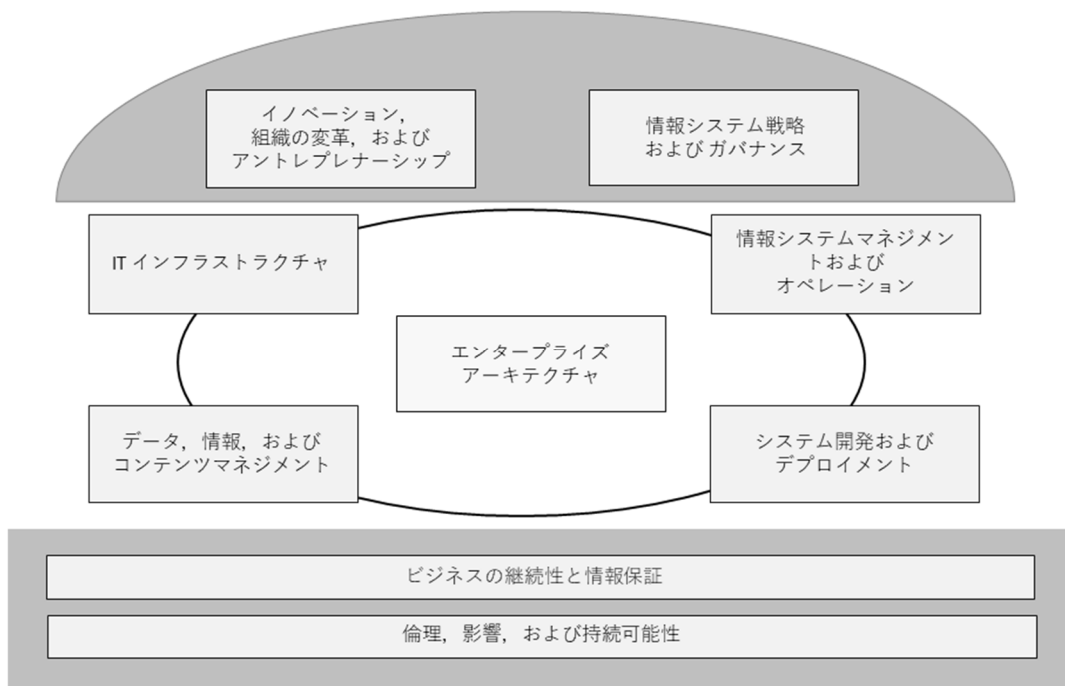


図 3.1.2-8 MSIS 2016 の情報システムのコンピテンシー領域の 9 つのカテゴリ

MSIS 2016 の Figure 4 をもとに追加・修正

また、個人の基礎となるコンピテンシー領域には、協働とチームワーク、創造性、批判的思考、倫理に関する分析、文化をまたぐコンピテンシー、リーダーシップ、数学と統計のコンピテンシー、ネゴシエーション、オーラルコミュニケーション、問題解決、記述によるコミュニケーションが含まれている。

MSIS 2016 のプログラムレベルの卒業生のコンピテンシーと、各モジュールレベルのトピックと学習目標との関係で示されているコンピテンシーの構造を図 3.1.2-9 に示す。到達レベルとしては、Awareness、Novice、Supporting、Independent の 4 段階が用意され、コンピテンシーカテゴリごとに、最低到達レベルが示されている。

各教育機関において、卒業生に期待するプロフェッショナルの能力を定め、そこからコ



コンピテンシーカテゴリーごとに期待するレベルと、具体的なコンピテンシーを定義し、それに基づいて、コースを設計することが必要である。

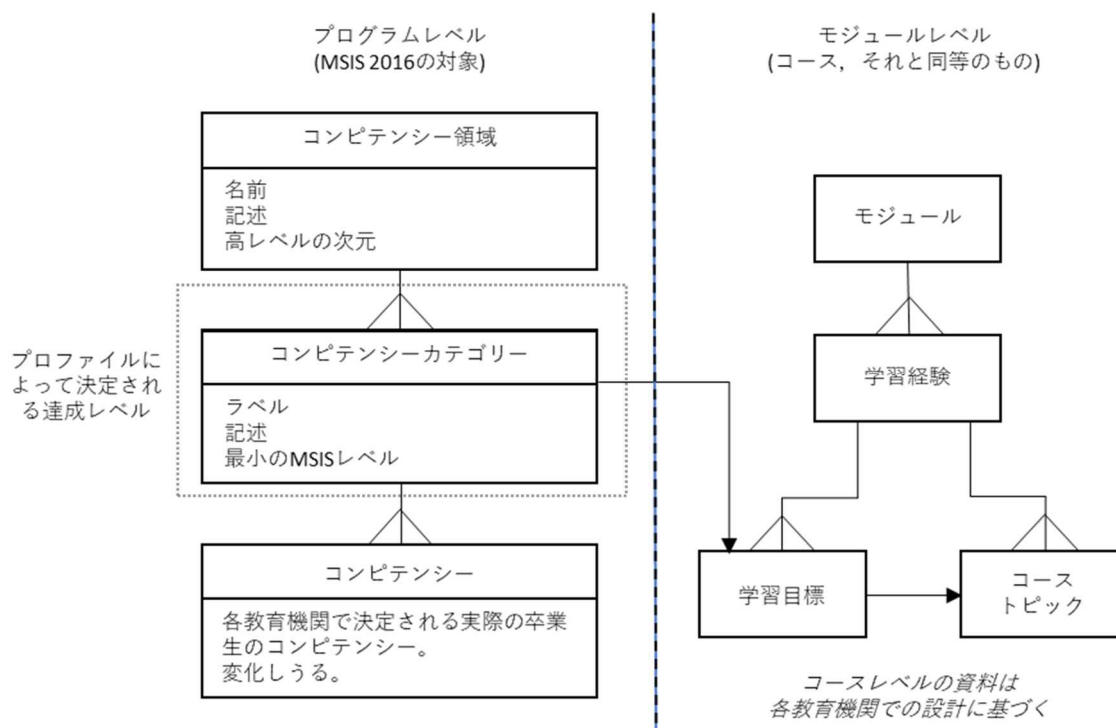


図 3. 1. 2-9 MSIS 2016 のプログラムレベルの卒業生のコンピテンシーと、各モジュールレベルのトピックと学習目標との関係で示されているコンピテンシーの構造

MSIS 2016 の Figure 2 をもとに追加・修正

### (3) サイバーセキュリティ・データサイエンスの位置付け

IS 2010 において、サイバーセキュリティ・データサイエンスに関連する内容がどのように記述されているか紹介する。

情報システムにおいて、サイバーの文脈に関わらず、「セキュアな情報システム」をどのように設計し実装し運用していくことは重要な関心事である。選択 IS コースの事例として、「IT セキュリティ・リスク管理」があげられており、そのコースの多くを学ぶべきとされる将来のキャリアとして「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 セキュリティ・リスクマネージャ」、「ネットワーク管理者」があげられている。

さらに、ビジネスインテリジェンスを生み出す情報システムが重要であり、そのシステムにおいてはデータサイエンスが利用されることになる。選択 IS コースの事例として「データマイニング、ビジネスインテリジェンス」があげられており、そのコースの多くを学ぶべきとされる将来のキャリアとして「ビジネスアナリスト」、「データベース管理者」、「デ

ータベースアナリスト」、「IT アーキテクト」があげられている。

コアコースにおける、サイバーセキュリティ・データサイエンスに関連する学習目標及びトピックを以下に示す。

表3.1.2-1 IS 2010のコアコースにおけるサイバーセキュリティに関連する学習目標とトピック

コアコース	学習目標	トピック
IS 2010.1 情報システムの基礎	情報システムのリソースを安全にする方法を、人間と技術の両方の対策に焦点をあてて理解すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●情報システムのセキュリティ</li> <li>○情報システムへの脅威</li> <li>○技術に基づく対策</li> <li>○人間に基づく対策</li> <li>○情報システムのセキュリティ計画と管理</li> </ul>
IS 2010.2 データと情報の管理	データセキュリティの鍵となる原則を理解し、データ管理システムの設計におけるデータセキュリティと侵入のリスクを識別できること	<ul style="list-style-type: none"> <li>●データのセキュリティ管理</li> <li>○基本的なデータのセキュリティ原則</li> <li>○データセキュリティの実現</li> </ul>
IS 2010.4 IT インフラストラクチャ	IT インフラストラクチャのコアとなる要素（クライアント、サーバ、ネットワーク装置、有線及び無線のネットワークリンク、システムソフトウェア、専用のセキュリティ装置など）の間の相違点と類似点を理解すること。 標準的な技術コンポーネント、サーバ、セキュリティ装置、いくつかの異なる種類のクライアントに基づく、ネットワークを含む、小さな組織のための IT インフラストラクチャソリューション	<ul style="list-style-type: none"> <li>●オペレーティングシステム</li> <li>○オペレーティングシステムを安全にする</li> <li>●ネットワーキング</li> <li>○ネットワークセキュリティとセキュリティ装置</li> <li>●IT インフラストラクチャを安全にする</li> <li>○暗号化と認証の原則</li> <li>○コンポーネントレベルのセキュリティ</li> <li>○周辺のセキュリティ：ファイアウォール</li> <li>○安全なデータ転送のために</li> </ul>

	<p>ンを構成できること。</p> <p>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できること</p>	<p>パブリックネットワークを使うこと：VPN</p>
IS 2010.6 システム分析と設計	<p>システム開発プロセスの始めから、高いレベルのセキュリティ及びユーザ体験を導くような原則を組み入れること</p>	<p>●システム要求の分析と記述</p> <p>○セキュリティに影響を及ぼす要素</p>

表 3.1.2-1 IS 2010 のコアコースにおけるデータサイエンスに関連する学習目標とトピック

コアコース	学習目標	トピック
IS 2010.1 情報システムの基礎	<p>様々な種類の情報システムが、組織の様々なレベルと機能に対する意思決定を支援するためのビジネスインテリジェンスを獲得するために必要とされる情報を用意していることを理解すること。</p>	<p>●ビジネスインテリジェンス</p> <p>○組織の意思決定、機能、レベル</p> <p>○情報と知識の発見</p> <p>○アプリケーションシステム</p> <p>○情報の視覚化</p>
IS 2010.2 データと情報の管理	<p>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) との間の処理を理解し、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、データマイニングとの間の関係を理解すること。</p> <p>単純なデータウェアハウス（データマート）を作ること。</p> <p>構造化されたデータ、半構造化されたデータ、構造化されていないデータがいかにか、企業情報と知識管理のすべての本質的な要素であるか理解すること。この文脈に</p>	<p>●ビジネスインテリジェンス</p> <p>○オンライン分析処理</p> <p>○データウェアハウス</p> <p>○データマイニング</p> <p>○エンタープライズ検索</p>

	において、学生はエンタープライズ 検索の原則を学習すること。	
--	-----------------------------------	--

MSIS 2016 では、セキュリティ及びデータサイエンスに関して、いくつかのコンピテンシーカテゴリーが定義されている。領域ごとに、具体的なカテゴリーを示す。セキュリティに関連するコンピテンシーカテゴリーは、以下のものである。

- 事業継続と情報保証の領域
  - サイバーセキュリティの管理と実現
  - 情報システムの問題への対応と管理
  - システムのオペレーションの管理
  - システムの回復の管理
  - 情報システムのリスクの管理
  - IT 資産の保護
  - 情報保証の戦略の策定
  - システムライフサイクルを通じた安全の保証
  - 事業継続と情報保証の領域
- データ、情報、コンテンツ管理の領域
  - 適切な技術ソリューションを用いて、データを安全にし、ユーザのプライバシーと組織の知的財産の両方を保護する
  - 組織の情報管理のポリシーとプロセスを開発し実現する
- 倫理、影響、持続可能性の領域
  - プライバシーの保護を保証する
- 情報システムの戦略とガバナンスの領域
  - インフラストラクチャのリスクを管理する

データサイエンスに関連するコンピテンシーカテゴリーは、以下のものである。

- データ、情報、コンテンツ管理の領域
  - 現代的なアーキテクチャソリューションを用いてデータウェアハウスを設計し実現する
  - 分析の利用のために様々なデータ源からのデータを統合し準備する
  - 適切な分析手法を選択し使用する
  - 高度な現代的な手法を用いてデータを分析する

データサイエンスに関しては、Mills らの論文 (IS Programs Responding to Industry Demands for Data Scientists: A Comparison between 2011-2016, Journal of Information Systems Education, Vol. 27 (2), 2016) の内容を紹介する。AACSB のアクレディテーションを受けた 118 プログラムを対象として、2011 年と 2016 年との間で、データサイエンスに関する内容がどのように変化しているか、Web ページの授業内容を調べて比較している。その結果を示す。

- 60.2%のプログラムが、2011 年から 2016 年の間に、新しい「ビッグデータ又は分析コース (科目)」を加えている。35.6%が 1 科目、15.3%が 2 科目、6.8%が 3 科目、3.4%が 4 科目を加えている。
- 「ビッグデータ又は分析コース (科目)」に関して、どのような内容のコースが増えているのか、コース (科目) の平均数により比較している。データベース管理(113→114)はほとんど変化がないのに対して、ビッグデータ分析 (6→34)、ビジネスデータ分析 (9→26)、ビジネスインテリジェンス (10→26) と急増している。

以上に述べた動向を踏まえると、J17 の IS 分野では「セキュアな情報システムの設計、実現、運用」について、理論、技術、システムアーキテクチャ、システムのモデル化、システムの運用、組織・管理、社会的・法的な側面など幅広く、かつそれらの関係を総合的に扱う必要がある。

データサイエンスに関しては、ビジネスインテリジェンスを生み出す情報システムの仕組み、ビッグデータを収集・伝達・蓄積・管理する仕組み、データ分析の理論・手法とそれらを実装する手段を、総合的に扱う必要がある。さらに、革新的な情報システムを生み出すために、ビッグデータをどのように利用していくのかという観点での教育も必要となるだろう。

#### (4) J17 策定へ向けて

日本の大学において、情報系専門学科において情報システムを主専攻としている学科は少ないが、一方、社会科学系学科において情報システムに関連する教育課程を有している学科の数の方が圧倒的に多い。

情報システム学科が普及されるようにするためには、IS 2010、MS 2016 で示されている、以下の考え方が重要である。

- 何ができるようになるか (教育目標もしくはコンピテンシー) を重視する
- 対象ドメインを、ビジネスのみではなく、他のドメインでも良いようにする
- 学修年限など、特定の教育課程の仮定をしないようにする

- すべての学生が学ぶべき内容、副専攻の学生が学ぶ内容、主専攻の学生が学ぶ内容に分けて、それぞれを階層化する
- 各教育課程が想定する卒業生像によって、内容の深さを適切に変えられるようにする

また、セキュリティ、データサイエンスについては、IS 2010、MIS 2016 の内容を参考にして、情報システムの文脈に基づいて、複数の科目にこれらの内容を含めることを検討していく必要がある。

以上の目標を達成するためには、J07-IS で作成した LU(Learning Unit)の考え方が有用であると考えている。LU の構成は、名前、教育目的、目的を達成するために必要となる学習目標、関連する ISBOK の項目からなっており、J07-IS では約 200 の LU(Learning Unit)を作成した。J07-IS では、モデルコースの各コース(科目)を、LU を組み合わせて作成できることを示している。

J17-IS においては、J07-IS の LU に対して、以下のような修正・追加を行うことが考えられる。

- 既存の LU において、技術や用語が古くなっているものを、現在の技術、用語に置き換える。
- 新しい技術や概念、関連対象領域に関する LU を加える。
- セキュリティ、データサイエンスに関わる LU を加える。
- 情報システムの優れた授業実践事例の内容を取り入れる。

これらの LU を使用して、「卒業後に情報システムの技術者となることを目指すカリキュラム」、「標準的な情報システム学科におけるカリキュラム」、「セキュリティに強い情報システム人材を養成することを目指すカリキュラム」、「ビジネス・イノベーション・IT の融合をはかる IT 融合人材を養成することを目指すカリキュラム」、「社会科学系の学科において情報システム副専攻として実施するためのカリキュラム」などを用意することで、日本の高等教育に広く活用される、情報システムカリキュラム標準になる。

### 3.1.3. コンピュータ工学

#### (1) J07 時点以降の進展

まずコンピュータ工学の位置づけを述べ、その後に進展について説明する。

##### (a) コンピュータ工学の位置付け

図 3.1.3-1 は平成 27 年度国民経済計算より GDP 構成比の年次推移を示す。コンピュータ工学は、製造業、情報通信業と強い関連を有するが、両産業の総和はこの 10 年間、GDP のおよそ四分の一を定常的に占めている。J07 では、コンピュータ工学は、

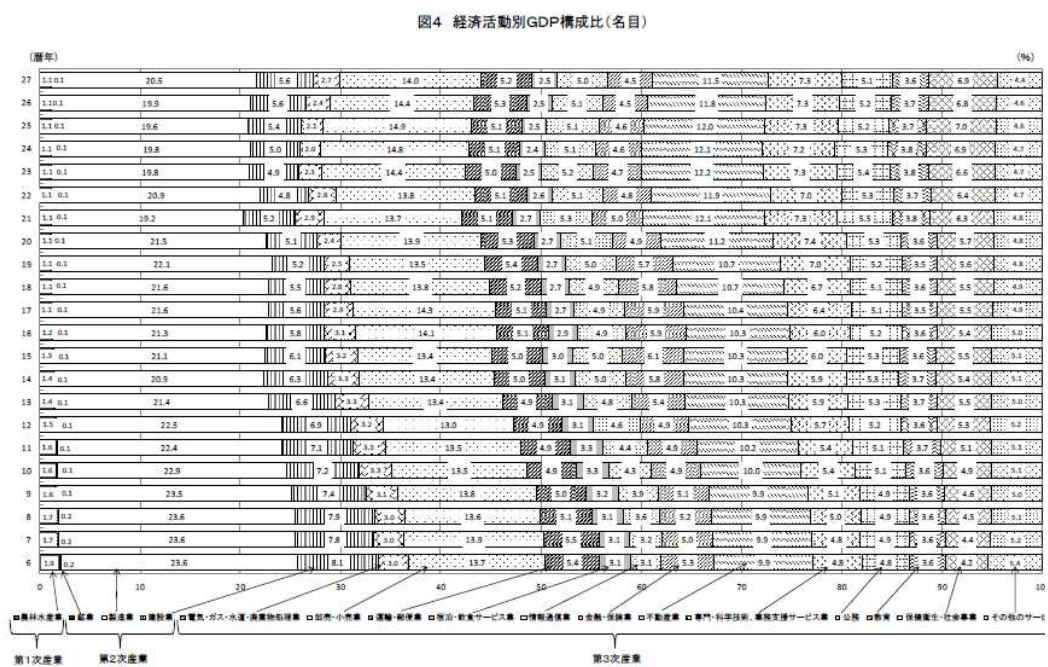


図3.1.3-1 GDP構成比の年次推移

我が国における組込み分野に相当するとしているので、「組込みソフトウェア開発データ白書 2015」より我が国の組込み産業の現状分析を行う。

##### (i) 日本の組込み産業

我が国における組込み関連産業を考えると、組込み製品の主だった対象を考えると組込み産業の変化を見てとれるのではないだろうか。20年以上前に組込み製品というと、炊飯器や洗濯機などの家電製品、産業用ロボットや産業機器、自動販売機などを主な対象とし、特定の機能のみを実現して高い品質と安定した動作が求められていた。けれども、その後の携帯電話やスマートフォンの爆発的な普及、自動停止機能や

障害物の自動検知機能を有し多数の電子部品を搭載した自動車などを組込み製品の開発対象とした場合、組込み製品が非常に多くの機能と高い性能を実現していることがわかる。さらに、現在広く喧伝されている IoT (Internet of Things) やビッグデータを活用した社会の実現を想定すると、ネットワークにつながることやさらに高度な処理、より多くの機能や汎用性をもった組込み製品が今後開発されていくことが予想できる。こういった組込み製品の複雑化・高度化・多機能化は、一般に利用するユーザーからの高い要求レベルを反映しているわけだが、製品の高機能化にともない、日本における組込み産業も高い技術力や品質を要求されていると云える。更に、従来の組込み製品では製品本体を小売するビジネスモデルであったわけだが、昨今では組込み製品を利用したサービスを提供することで利益を上げるようなビジネスモデルに変化してきている。このように主たる製品の変遷、製品の機能面の変化およびビジネスモデルの変化が短期間におきており、組込み産業は非常に変化の激しい産業といわざる負えない。以下では情報処理推進機構 (IPA) により調査された組込み産業における統計データをもとに現在の組込み産業の状況を見てみたい。

#### (ii) 産業実態調査に見る組込み技術の重要性

まず、我が国における組込み関連産業の規模をみてみよう。図 3.1.3-2 は、2010 年の国内総生産に占める組込み関連産業の比率である。総生産全体で 482 兆円、そのうち組込み関連産業の規模は約 60 兆円で 12.4% を占めている。この割合は、一般のサービス業、卸売・小売業、不動産業に次いで第 4 位の規模である。さらに、卸売業・小売業の POS 端末、金融・保険業の ATM 端末、運輸・通信業の自動車や通信機器、建設業の建設機器など、組込み関連製造業に留まらず他の産業においても組込み技術なくして事業が成立しない。まさに組込み技術は我が国の基盤技術と云える。



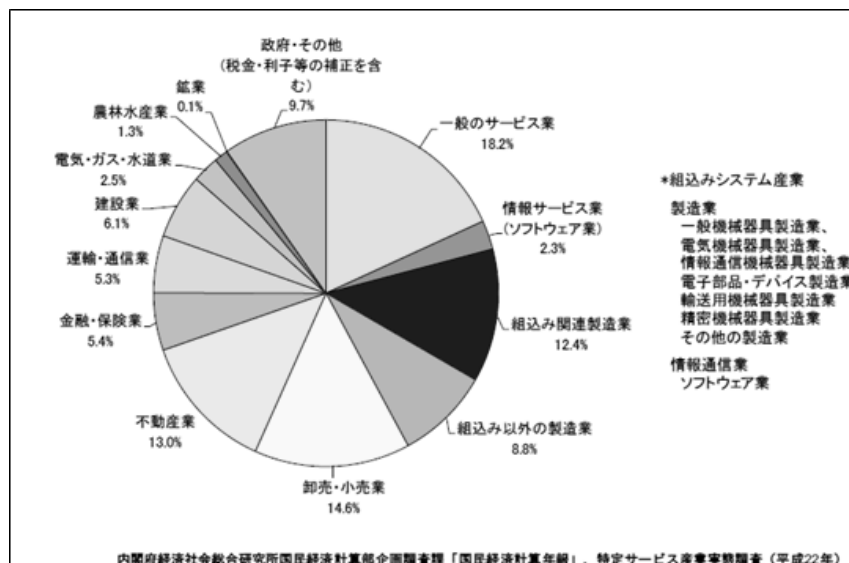


図3.1.3-2 産業割合

(iii) 組込みソフトウェア開発の一面

IPA により報告された「組込みソフトウェア開発白書2015」の調査結果を引用し、我が国における組込みソフトウェア開発の現状を概観していく。図3.1.3-3は、組込みソフトウェア開発のプロジェクトの種別（左）とプロジェクトの概要（右）を示している。プロジェクトの種別として5%が新規開発である。そして、プロジェクトの概要として、組込み開発においてハードウェア開発とソフトウェア開発が同一プロジェクトに含まれていることが調査結果から伺える。また、開発プロジェクトによりソフトウェア開発やハードウェア開発に留まらず、コンサルティングや顧客教育も実施していることが分かる。したがって、開発プロジェクトといっても形態は多岐に渡り、設計開発から顧客のフォローや納品後の保守までを含めた複合形態のプロジェクトもみてとれる。

図3.1.3-4は、開発した組込みシステムのさまざまな特性を示した結果である。図3.1.3-4の左上段にあるリアルタイム性では、1割程度の高いリアルタイム性を示している。次いで、左下段にあるネットワーク接続の有無では、開発における83%がネットワーク接続機能を有しておりネットワーク接続が組込み製品における必須要件であることがみてとれる。今後、IoTの普及が更に進むことでネットワーク接続機能を有する開発の割合は更に高まることが予想される。図3.1.3-4の右上段は、CPUアーキテクチャを示している。開発における70%以上がシングルCPUであるが、3割弱がマルチCPUの構成をとっている。図3.1.3-4の右下段は、OSアーキテクチャを示している。開発における8割がリアルタイムOSを採用しており、マイクロ秒オーダーの高い時間制約を課されていない場合も含めて、組込み製品のOSの多くはリアルタイムOS

が採用されていると判断できる。また、1割弱がOSレスであるが、逆に9割以上の組込み製品で何らかのOSを採用していることになり、特定用途向けの単純な動作だけを担う組込み製品はほぼ開発されていないという現状がみてとれる。CPUアーキテクチャとOSアーキテクチャの結果から、開発されている組込み製品に対し高い性能要件が課されているといえる。

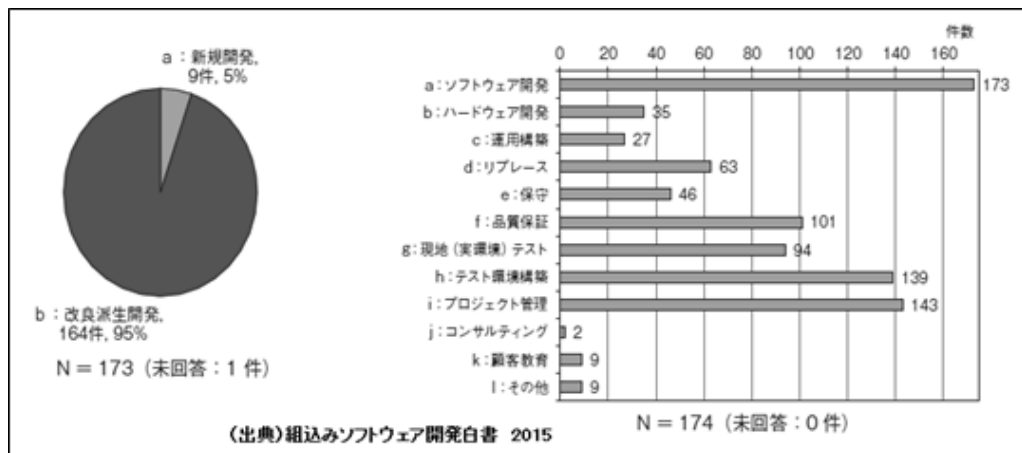


図 3.1.3-3 開発プロジェクトの種別 (左) と開発プロジェクトの概要 (右)

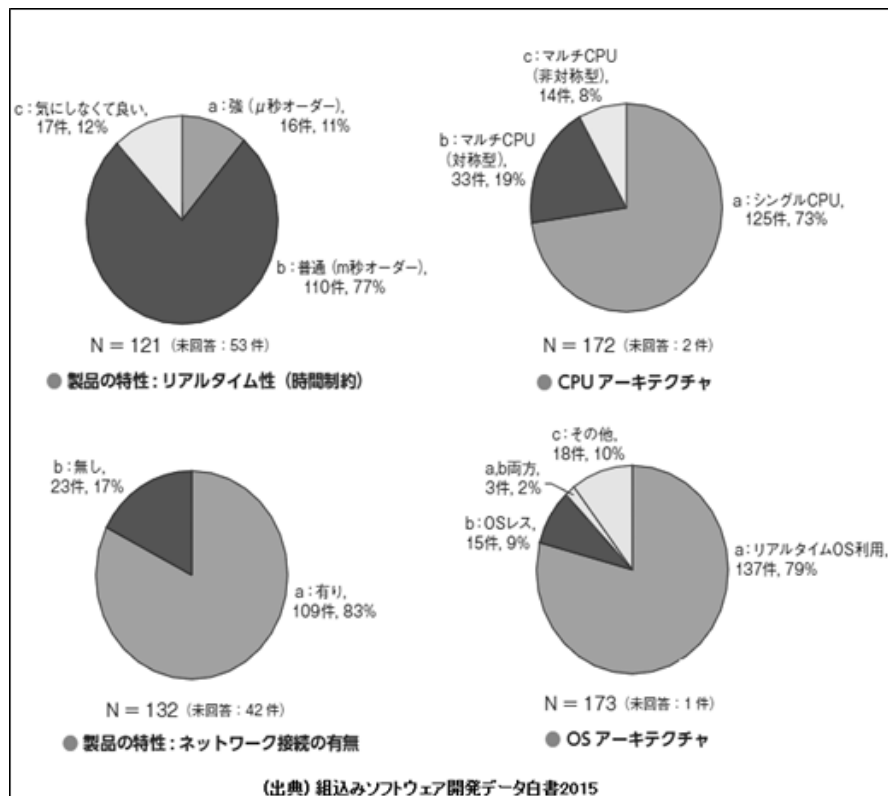


図 3.1.3-4 開発したシステムの特性: リアルタイム性 (左上段)、ネットワーク接続の有無 (左下段)、CPUアーキテクチャ (右上段) および OS アーキテクチャ (右下段)

図 3.1.3-5 は、組込み関連の開発プロジェクトに携わる要員の経験に関する調査結果である。製品プラットフォームは、開発対象製品のプラットフォームで搭載 OS 等やミドルウェア等を意図し、開発プラットフォームは、クロス開発環境を意図している。製品分野の経験、分析・設計経験や製品プラットフォームの使用経験では、調査結果の c と d を合わせた割合が 2 割程度を占めており、日本における組込みソフトウェア開発では開発に携わる要員の多くが経験に乏しいまま開発を行っていることがうかがえる。以前にも増して組込みソフトウェア開発の人材育成が急務であると云える。また、開発品に対する高い要求レベルや多機能化・複雑化した開発を行っていることも、未経験者の占有割合が多いことの理由の一つと考えられる。

図 3.1.3-6 は、組込み関連の開発プロジェクトにおける実績評価 (QCD:Quality Cost Delivery) を調査した結果である。コスト、品質、工期ともに 80% が計画通りまたは計画以上に評価されている。一方、品質や工期の面で計画通りにいかなかったプロジェクトも約 20% 含まれており、組込みソフトウェア開発の実態として開発が計画よりも長期に渡り、品質の面でも当初の計画よりも不具合が頻発していることが分かる。

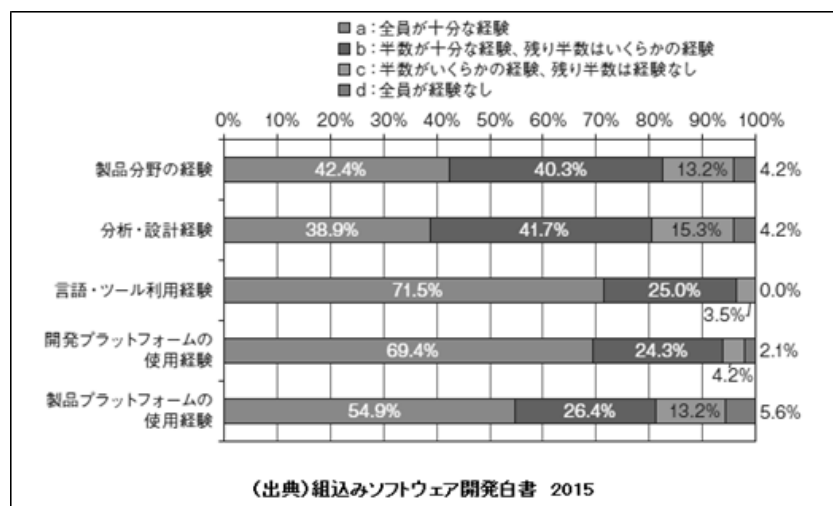


図 3.1.3-5 開発プロジェクトにおける要因の経験

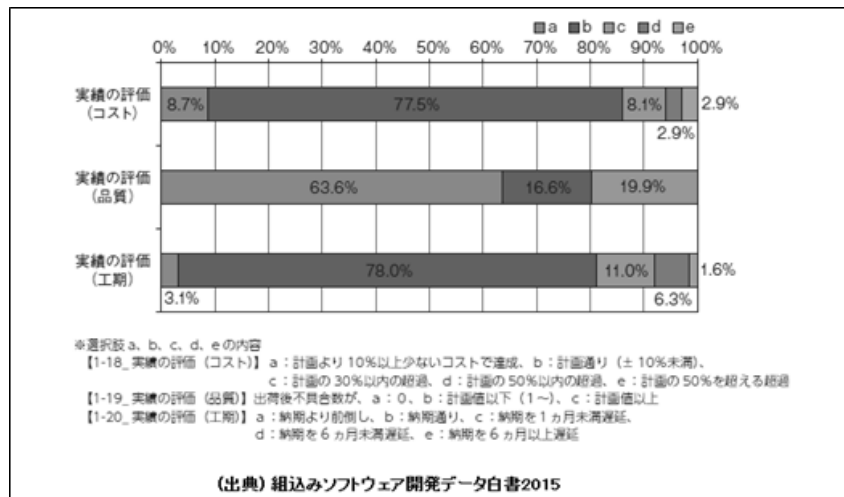


図 3. 1. 3-6 開発プロジェクトにおける実績評価 (QCD)

これらの調査結果から、我が国における組込み産業の現状として、リアルタイム性やネットワーク接続機能、様々な CPU アーキテクチャや OS アーキテクチャなどを取捨選択しさまざまな機能を盛り込んで複雑化した組込み製品を開発する必要がある。加えて、不十分な開発要員で組込み製品の開発を行い、高い品質を要求されている反面十分に検証できないまま製品出荷後に不具合が頻発することや、複雑化する開発により長期の開発期間を要していることが分かる。

(iv) 分析のまとめ

実際に開発された組込み製品に関する調査結果を通して日本における組込み産業の現状を概観してきた。組込み機器といっても目覚まし時計や体温計のように特定の機能に特化したものから、携帯電話やスマートフォンのような多機能な通信機器、更に生産現場で使われる産業機器やロボットなどさまざまな製品が存在するが、現状では組込み機器の高機能化の流れは顕著である。そして、この流れの中で日本の組込み産業は製品の高機能化・複雑化といった要件に絶えず応え続けてきている。顧客からの高い要件に応え続けてきたが日本の組込み産業の一番の強みであり、組込み産業が今後の日本の基幹産業という位置も揺らぐことはないといえるのではないだろうか。

(b) ACM/IEEE Computer Engineering 2016 Final Curriculum Report

コンピュータ工学分野は、ACM/IEEE の Computer Engineering 2016 Final Curriculum Report (以後 CE2016) が 2016 年 12 月に発行されたことにもない、CE2016 と J07 制定時に参照した CE2004、J07 を比較しながら、本分野の教育に関する流れをまとめる。初めに、CE2016 の概要を説明し、その後、CE2004、J07 との差分を見ることで、今後のカ

リキュラム開発の方向性を検討する。

(i) 概要

CE2016 のカリキュラムを受けた学生が世の中に出るのは、早くて 2021 年となるため、CE2016 カリキュラムは 2020 年代半ばに必要とされる人材像を念頭に置いて制定している。コンピュータ工学は、急速に発展している分野の一つである。コンピュータ工学を CE2016 では次のように定義する。

**コンピュータ工学は、現代的なコンピュータシステムやコンピュータ制御で動作する機器のハードウェア・ソフトウェア部品の設計、組立、実装、保守のための科学・技術を実現するための学問分野である。**

この定義は、我が国では多くの製造業・情報通信業の業務分野に相当する。このカリキュラムは、履修する学生に、コンピュータシステムの設計から実装まで多くのキャリアの可能性を与える。コンピュータシステムは、非常に広範な製品の部品である。例えば、自動車の燃料噴射システム、X 線機器のような医用機器、スマートフォンのような通信機器、警報機や洗濯機のような家電製品などにコンピュータシステムは使われている。コンピュータエンジニアが行う典型的なタスクには、コンピュータシステムやコンピューティング部品の設計、ネットワークコンピュータや、インターネット・オブ・シングス (IoT) の設計、製品の開発とテスト、市場への投入などがある。

CE2016 は、BoK と呼ぶ基本的な知識体系を報告する。各組織は、この知識体系より、必要に応じ、カリキュラムを開発、もしくは修正する。知識体系は、世界中の全てのコンピュータ工学プログラムに適用可能な知識領域 (KA) を含んでいる。

各知識領域は知識ユニット (KU) の集合体である。一連の学習成果 (Learning Outcomes) が KU を定義している。図 3.1.3-7 に、コンピュータアーキテクチャと構造のコア学習成果を示す。CE2016 は全てのカリキュラムで実施すべき知識ユニットをコアと呼び、残りの知識ユニットを付録として扱う。コアユニットは各知識領域のプログラムが最低限必要な知識とその深さを表している。そこで、コアユニットのみのコンピュータ工学のカリキュラムは全く不完全である。

### **CE-CAO-3 Instruction set architecture**

*Minimum core coverage time: 10 hours*

*Core Learning Outcomes:*

- Explain the organization of a von Neumann machine and its major functional units.
- Illustrate how a computer fetches from memory, decodes, and executes an instruction.
- Articulate the strengths and weaknesses of the von Neumann architecture, compared to a Harvard or other architecture.
- Describe the primary types of computer instructions, operands, and addressing modes.
- Explain the relationship between the encoding of machine-level operations at the binary level and their representation in a symbolic assembly language.
- Explain different instruction format options, such as the number of addresses per instruction and variable-length versus fixed-length formats.
- Describe reduced (RISC) vs complex (CISC) instruction set computer architectures.
- Write small assembly language programs to demonstrate an understanding of machine-level operations.
- Implement some fundamental high-level programming constructs at the assembly-language level, including control flow structures such as subroutines and procedure calls.
- Write small assembly language programs to access simple input/output devices using program-controlled and interrupt-driven methods.

### **図 3.1.3-7 CE-CAO・コンピュータアーキテクチャと構造のコア学習成果**

コンピュータ工学のプログラムはコンピュータ工学の知識体系に基づいた十分な初級・中級・上級レベルの授業を持っていなくてはならない。科学と数学に対する広範で深い知識はこの原則にとって必要となる。設計要素はこのプログラムの生命線であり、一般には上級プロジェクトもしくは卒業プロジェクトで頂点に達する。プログラムは、卒業生が工学的な設計を行うにあたって必要な、法規、倫理、社会的な内容を扱う必要がある。さらに、批判的思考法、問題解決法、パーソナルスキル、口頭・文筆コミュニケーションスキル、チームワーク、数多くの実験授業がコンピュータ工学のプログラムには本質的な要求としてある。

グローバルな協調は今日の開発では不可欠であり、CE2016 は国際的な協力のもと制定されている。中国、イギリス、オーストラリア、米国が自国のコンピュータ工学教育の歴史について、状況説明を行っている。

J07 では、組込みソフトウェア分野に限定し、経済産業省が制定した組込みスキル標準 (ETSS) と組込みソフトウェア産業実態調査を参照して、我が国の技術要求が主として組込みソフトウェアにあるとまとめていた。しかしながら、CE2016 はソフトウェアだけをターゲットとしておらず、現代的な機器にはハードウェア・ソフトウェア双方の開発が欠かせないことから、ハードウェアについても大きな重点を置いていることがわかる。

#### **(ii) 知識領域とコア時間**

CE2016 はすべてのコンピュータ工学プログラムを持つ学科に共通で、全学生が最低

限受講しなくてはならない知識領域として設計されている。このコアカリキュラムは、12のコンピュータ領域の420時間に加えて、4つの数学領域の120時間から構成される。

CE2016では何度も強く強調しているが、このコア時間はコンピュータ工学をプログラムとして有する学科において全学生が最低限学習することを前提とする最低時間であり、各組織は、この最低時間を満たしたうえで、さらに発展的な内容や基礎的な内容を補い、3年もしくは4年のカリキュラムの完成を行うべきである。

カリキュラムにおいて、コア1時間は対面授業の1時間に相当し、米国では50分を1時間に換算している。セメスター制をとる大学では、420時間は、30セメスター時間・14週の授業相当であり、CE2016では1年間で実施可能なコアカリキュラム量とみなしている。

日本では45分を1時間に換算する習慣であり、例えば、90分の授業はカリキュラム上2時間と考える。そこで、90分授業、セメスター制をとる我が国の大学講義に換算すると、14科目、15週の授業に相当する。セメスターごと7科目ずつ履修することとして、授業時間から見ても、我が国の大学授業において1年間で十分吸収できる授業時間数であると言えよう。

Table 3.2: CE2016 Body of Knowledge  
(CE Core Hours: 420)

<b>Knowledge Areas and Knowledge Units</b>	
<p><b>CE-CAE Circuits and Electronics</b> [50 core hours]</p> <p>CE-CAE-1 History and overview [1] CE-CAE-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [3] CE-CAE-3 Electrical quantities and basic elements [4] CE-CAE-4 Electrical circuits [11] CE-CAE-5 Electronic materials, diodes, and bipolar transistors [7] CE-CAE-6 MOS transistor circuits, timing, and power [12] CE-CAE-7 Storage cell architecture [3] CE-CAE-8 Interfacing logic families [3] CE-CAE-9 Operational amplifiers [3] CE-CAE-10 Mixed-signal circuit design [3] CE-CAE-11 Design parameters and issues CE-CAE-12 Circuit modeling and simulation methods</p>	<p><b>CE-CAL Computing Algorithms</b> [30 core hours]</p> <p>CE-CAL-1 History and overview [1] CE-CAL-2 Relevant tools, standards and/or engineering constraints [1] CE-CAL-3 Basic algorithmic analysis [4] CE-CAL-4 Algorithmic strategies [6] CE-CAL-5 Classic algorithms for common tasks [3] CE-CAL-6 Analysis and design of application-specific algorithms [6] CE-CAL-7 Parallel algorithms and multi-threading [6] CE-CAL-8 Algorithmic complexity [3] CE-CAL-9 Scheduling algorithms CE-CAL-10 Basic computability theory</p>
<p><b>CE-CAO Computer Architecture and Organization</b> [60 core hours]</p> <p>CE-CAO-1 History and overview [1] CE-CAO-2 Relevant tools, standards and/or engineering constraints [1] CE-CAO-3 Instruction set architecture [10] CE-CAO-4 Measuring performance [3] CE-CAO-5 Computer arithmetic [3] CE-CAO-6 Processor organization [10] CE-CAO-7 Memory system organization and architectures [9] CE-CAO-8 Input/Output interfacing and communication [7] CE-CAO-9 Peripheral subsystems [7] CE-CAO-10 Multi/Many-core architectures [5] CE-CAO-11 Distributed system architectures [4]</p>	<p><b>CE-DIG Digital Design</b> [50 core hours]</p> <p>CE-DIG-1 History and overview [1] CE-DIG-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [2] CE-DIG-3 Number systems and data encoding [3] CE-DIG-4 Boolean algebra applications [3] CE-DIG-5 Basic logic circuits [6] CE-DIG-6 Modular design of combinational circuits [8] CE-DIG-7 Modular design of sequential circuits [9] CE-DIG-8 Control and datapath design [9] CE-DIG-9 Design with programmable logic [4] CE-DIG-10 System design constraints [5] CE-DIG-11 Fault models, testing, and design for testability</p>
<p><b>CE-ESY Embedded Systems</b> [40 core hours]</p> <p>CE-ESY-1 History and overview [1] CE-ESY-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [2] CE-ESY-3 Characteristics of embedded systems [2] CE-ESY-4 Basic software techniques for embedded applications [3] CE-ESY-5 Parallel input and output [3] CE-ESY-6 Asynchronous and synchronous serial communication [6] CE-ESY-7 Periodic interrupts, waveform generation, time measurement [3] CE-ESY-8 Data acquisition, control, sensors, actuators [4] CE-ESY-9 Implementation strategies for complex embedded systems [7] CE-ESY-10 Techniques for low-power operation [3] CE-ESY-11 Mobile and networked embedded systems [3] CE-ESY-12 Advanced input/output issues [3] CE-ESY-13 Computing platforms for embedded systems</p>	<p><b>CE-NWK Computer Networks</b> [20 core hours]</p> <p>CE-NWK-1 History and overview [1] CE-NWK-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [1] CE-NWK-3 Network architecture [4] CE-NWK-4 Local and wide area networks [4] CE-NWK-5 Wireless and mobile networks [2] CE-NWK-6 Network protocols [3] CE-NWK-7 Network applications [2] CE-NWK-8 Network management [3] CE-NWK-9 Data communications CE-NWK-10 Performance evaluation CE-NWK-11 Wireless sensor networks</p>
<p><b>CE-PPP Preparation for Professional Practice</b> [20 core hours]</p> <p>CE-PPP-1 History and overview [1] CE-PPP-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [1] CE-PPP-3 Effective communication strategies [2] CE-PPP-4 Interdisciplinary team approaches [1] CE-PPP-5 Philosophical frameworks and cultural issues [2] CE-PPP-6 Engineering solutions and societal effects [2] CE-PPP-7 Professional and ethical responsibilities [3] CE-PPP-8 Intellectual property and legal issues [3] CE-PPP-9 Contemporary issues [2] CE-PPP-10 Business and management issues [3] CE-PPP-11 Tradeoffs in professional practice</p>	<p><b>CE-SEC Information Security</b> [20 core hours]</p> <p>CE-SEC-1 History and overview [2] CE-SEC-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [2] CE-SEC-3 Data security and integrity [1] CE-SEC-4 Vulnerabilities: technical and human factors [4] CE-SEC-5 Resource protection models [1] CE-SEC-6 Secret and public key cryptography [3] CE-SEC-7 Message authentication codes [1] CE-SEC-8 Network and web security [3] CE-SEC-9 Authentication [1] CE-SEC-10 Trusted computing [1] CE-SEC-11 Side-channel attacks [1]</p>
<b>Knowledge Areas and Knowledge Units</b>	
<p><b>CE-SGP Signal Processing</b> [30 core hours]</p> <p>CE-SGP-1 History and overview [1] CE-SGP-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [3] CE-SGP-3 Convolution [3] CE-SGP-4 Transform analysis [5] CE-SGP-5 Frequency response [5] CE-SGP-6 Sampling and aliasing [3] CE-SGP-7 Digital spectra and discrete transforms [6] CE-SGP-8 Finite and infinite impulse response filter design [4] CE-SGP-9 Window functions CE-SGP-10 Multimedia processing CE-SGP-11 Control system theory and applications</p>	<p><b>CE-SPE Systems and Project Engineering</b> [35 core hours]</p> <p>CE-SPE-1 History and overview [1] CE-SPE-2 Relevant tools, standards and/or engineering constraints [3] CE-SPE-3 Project management principles [3] CE-SPE-4 User experience* [6] CE-SPE-5 Risk, dependability, safety and fault tolerance [3] CE-SPE-6 Hardware and software processes [3] CE-SPE-7 Requirements analysis and elicitation [2] CE-SPE-8 System specifications [2] CE-SPE-9 System architectural design and evaluation [4] CE-SPE-10 Concurrent hardware and software design [3] CE-SPE-11 System integration, testing and validation [3] CE-SPE-12 Maintainability, sustainability, manufacturability [2]</p>
<p><b>CE-SRM Systems Resource Management</b> [20 core hours]</p> <p>CE-SRM-1 History and overview [1] CE-SRM-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [1] CE-SRM-3 Managing system resources [8] CE-SRM-4 Real-time operating system design [4] CE-SRM-5 Operating systems for mobile devices [3] CE-SRM-6 Support for concurrent processing [3] CE-SRM-7 System performance evaluation CE-SRM-8 Support for virtualization</p>	<p><b>CE-SWD Software Design</b> [45 core hours]</p> <p>CE-SWD-1 History and overview [1] CE-SWD-2 Relevant tools, standards, and/or engineering constraints [3] CE-SWD-3 Programming constructs and paradigms [12] CE-SWD-4 Problem-solving strategies [5] CE-SWD-5 Data structures [5] CE-SWD-6 Recursion [3] CE-SWD-7 Object-oriented design [4] CE-SWD-8 Software testing and quality [5] CE-SWD-9 Data modeling [2] CE-SWD-10 Database systems [3] CE-SWD-11 Event-driven and concurrent programming [2] CE-SWD-12 Using application programming interfaces CE-SWD-13 Data mining CE-SWD-14 Data visualization</p>

\* User experience (UX) was formerly known as human-computer interaction (HCI)



### (iii) 授業形態

コア時間の計算は、従来型の講義を前提として行われている。しかし、CE2016では、学習に関する最新の研究を反映した多様な学習方法をとることも推奨している。また、工学分野においては、実験・実習が技術の定着に欠かせないことから、実験・実習科目を取り入れることを要求している。しかしながら、科目のコア時間は、授業形態に依存し、講義時間と異なる換算をすることに注意が必要である。米国の多くの大学では実験・実習は3倍の対面時間を要する（コア時間1時間の知識単位は3時間の実験を必要とする）が、この換算率は組織ごとに異なるため、カリキュラム作成時に注意が必要となる。CE2016では、明示的な時間の指定はないものの、学生が実際にハードウェア、OS、ソフトウェア、アプリケーションなどのコンピュータシステムトータルの設計を行うことを重視しており、実験・実習の時間を十分確保しておく必要がある。

## (2) J07 時点の標準と現時点での標準の変化

### (a) CE2004 から CE2016 への差分

J07 が参照している CE2004 と CE2016 の差分より、国際的に認知されている本分野の必要条件に付いて、調査した。まず、ACM/IEEE が CE2016 をまとめるにあたり、10年間の変遷により差分が大きく出たと考えている項目に次のようなものがある。

#### (i) VLSI が SoC へ

ムーアの法則に従い集積度が向上した結果、LSI チップが単にペリフェラルである時代が終了し、プロセッサや周辺回路、メモリなどを統合したシステム・オン・チップに変遷した。また、ムーアの法則の終焉は、プロセッサ速度の向上率の低下を招き、10年前と違い同じプログラムを、プロセッサを換えただけで高速化するフリーランチは得られなくなるため、SoC 技術の使いこなし、新しいハードウェアの開発が競争力維持に不可欠になりつつある。コンピュータ工学では従来からハードウェア・ソフトウェアを統合するシステムとしてコンピュータを用いる機器を扱っていたが、SoC は、一つのチップとして統合されたデバイスを提供するものであり、コンピュータ工学の教育内容にも大きなインパクトを与える。具体的には、ソフトウェアとハードウェアを密接に連携させた設計をするための知識領域を整理し直した。

#### (ii) ASIC から FPGA へ

LSI 技術の微細化は、ASIC 作成コストの増大、TAT の相対的な増大を招いた。特に、ディープサブミクロンプロセスにおいて、ASIC 開発のコストは、数百万台規模の売り

上げを見込めないと回収が困難な金額となり、ASIC に対する大きな参入障壁を作ることとなった。ところが、ユーザー志向の多様化に伴い、単一機種で大量販売するビジネスモデルは取りにくくなり、少量多品種が要求されるため、ますます ASIC による製品競争力の向上は困難である。

一方、この状況は、FPGA のように少数品種を多数製造する半導体には非常に有利に働いた。FPGA は、搭載する論理を顧客が書き込むため、提供する側はごく少数の種類を大量生産可能となる。結果として、FPGA は、ASIC では利用が困難なほど微細化が進んだ最新技術を利用できることとなり、性能的にも ASIC に匹敵する製品を提供できつつある。その結果、ASIC を利用する局面が減り、コンピュータ工学分野での FPGA の存在感が増すことになった。コンピュータ工学のカリキュラムにもこの変遷は影響している。特に VLSI 設計の知識領域は削除され、電子回路の知識領域が独立領域としては消えて、電気回路と合わせて電気・電子回路となることになった。

### (iii) 並列コンピューティング

CE2004 では、並列コンピューティングの扱いが大きかったが、並列コンピュータはコンピュータ工学のカリキュラムとしては扱いが減ることとなった。一方、並列動作という面では同等ではあるが、マルチコアは存在感を増し、SRM/CAO などで取り上げている。CE2004 の制定された時期には大型の並列スーパーコンピュータを開発し性能を競う会社があったが、現在は大型並列スーパーコンピュータの用途が限定され、高速ネットワーク接続された汎用プロセッサを並列動作させることになった。また、半導体集積度向上のため、PC やスマートフォンのみならず、多くの SoC において、複数のプロセッサコアを搭載するマルチコアプロセッサが一般的になってきた影響が大きいものと思われる。

### (iv) 組込みシステム

組込みシステムの重要性が増大し、ESY への時間割り当てが倍増している。IoT が主要な技術分野として注目を浴びていることから分かるように、ネットワークに接続した組込みシステムの要望は著しく高く、前出の組込みソフトウェア開発データ白書からも、ネットワーク接続された開発案件が非常に多いことがわかる。また、ESY の内容についても、従来型の要素技術に偏る内容ではなく、設計・実装戦略を含めた充実した内容を要求するようになった。

### (v) セキュリティ

ネットワークや組込み機器においてセキュリティの重要性が増大したことから、CE-SEC を独立科目として追加した。特に、前出のように組込みシステムの多くがネッ

トワークに接続されている現状では、情報セキュリティを知らずに設計することは不可能である。20 時間という相対的に大きな時間を割り当てていることから、CE2016 で情報セキュリティへの要望が非常に大きいことが推測できる。

#### (vi) モバイルデバイス

モバイルデバイスの重要性が増大し、多くの科目中にモバイルデバイスに関するトピックスが追加された。

#### (vii) コンピュータシステム工学

コンピュータシステム工学が新設され、システムの要求、検証、テストとハードウェアとソフトウェア工学を統合した。

#### (viii) 開発ツールと標準

ハードウェア・ソフトウェアの開発・設計におけるツールと標準に関する内容が追加された。

### (3) サイバーセキュリティ・データサイエンスの位置付け

CE2016 はコンピュータ工学に関する知識体系並びに大学教育を対象にしたカリキュラムを定めており、その領域にはセキュリティ並びにデータサイエンスに関するものも幅広く扱われている。以下、コンピュータ工学に関するカリキュラム標準である CE2016 を対象にし、両分野の位置づけについて述べる。

まずセキュリティについてであるが、先述の 3.1.3-(2)の(e)にあるように CE2016 ではセキュリティがカリキュラム標準に追加されている。この項目では共通鍵暗号方式、秘密鍵暗号方式や認証技術といったコンピュータ工学におけるセキュリティ技術を 11 個の講義に細分化され、コア時間として 20 時間を要すると定められている。セキュリティは CE2004 や J07-CE では存在しておらず、近年のサイバーセキュリティに関する注目度の高さと重要性を反映したものといえる。

データサイエンスの位置づけとして、J07-CE と CE2004 ではソフトウェア工学の科目としてそれぞれコア時間 16 時間と 13 時間を要するものとして策定されていたが、CE2016 ではソフトウェアデザインにおいてコア時間 45 時間を割り当てている。CE2016 ではオブジェクト指向設計、イベント駆動型設計やデータベースシステムなど技術のトレンドに即した項目へと刷新されていることに加えて、データ可視化技術、データマイニングや機械学習といった先進的な項目も補助的な項目としてカリキュラムに追加されていることがコア時間の大幅な増加の要因である。このような状況から、CE2016 におけるデータサイエンス

の位置づけは、CE2004 や J07-CE 策定時とは異なり非常に重要な要素として位置づけられているといえる。

#### (4) J17 策定へ向けて

情報処理学会情報処理教育委員会コンピュータエンジニアリング教育委員会は、東海大学の清水尚彦教授を筆頭に 14 人で構成されており、平成 28 年度より J17-CE の策定に向けて作業を遂行している。これまで、現在の標準である CE2016 の構成を把握し、CE2016、J07-CE および J07-CE 策定時の標準である CE2004 との差異について精細な調査を行い、それに基づいて J17-CE で定める知識項目に関して検討を行っている。

前述の通り CE2004 と CE2016 とで大きく異なる点が多数あるため、J07-CE を参照しつつも J17-CE として改めてカリキュラム標準を再設計することを考えている。その策定にあたって、以下の各項目が再設計におけるポイントとなる。

##### (a) コア時間の分配

各領域のコア時間の変動をみると、CE2004 で用意されていた「ソフトウェア工学」「プログラミング基礎」「コンピュータシステム工学」「HCI」「データベース」の計 83 時間を CE2016 では、「システムプロジェクト工学」「ソフトウェア設計」の計 80 時間に再編した。

組込み技術のコア時間が 20 時間から 40 時間に倍増しているだけでなく、領域内の知識項目にも大きな見直しがかかっている。CE2004 では、マイクロコントローラ、プログラム、リアルタイム OS などに大きな時間を割いていたが、CE2016 はむしろシステムとしての組込み機器の開発に重点を置きなおしている。

コンピュータ工学技術者がネットワーク接続された機器を扱うケースが増えたことから、情報セキュリティが重要課題となってきた。そのため、情報セキュリティ領域を新設し、ここにコア時間 20 時間を割り当てている。

組込み技術の 20 時間の増と情報セキュリティの 20 時間の増加分は、ほぼ電子回路と VLSI 設計の減少で説明がつく。

数学科目は CE2004 では 66 時間を指定していたが、数学的な解析が必要な分野が増えたこともあり、CE2016 では 120 時間を数学科目の最低限のコア時間としている。

##### (b) カリキュラム例

ミルウォーキー工科大学では、CE2016 を実現するカリキュラムサンプルを提示している (図 3.1.3-8)。CE2016 のコア時間はおよそ 1 年分の授業分量となるので、エンジニア教育として十分な成果を上げるため、他の知識項目を豊富に準備していることが見て取れる。さらに、知識項目の一部は CS・SE・EE など他の工学分野の標準から導入し、この

プログラムのアウトプットとして十分な成果を上げるように配置している。

また、図 3.1.3-8 を見ても分かるように、CE2016 の知識項目は、配置や順序など自由度が高く、カリキュラム設計を柔軟に行えることがわかる。

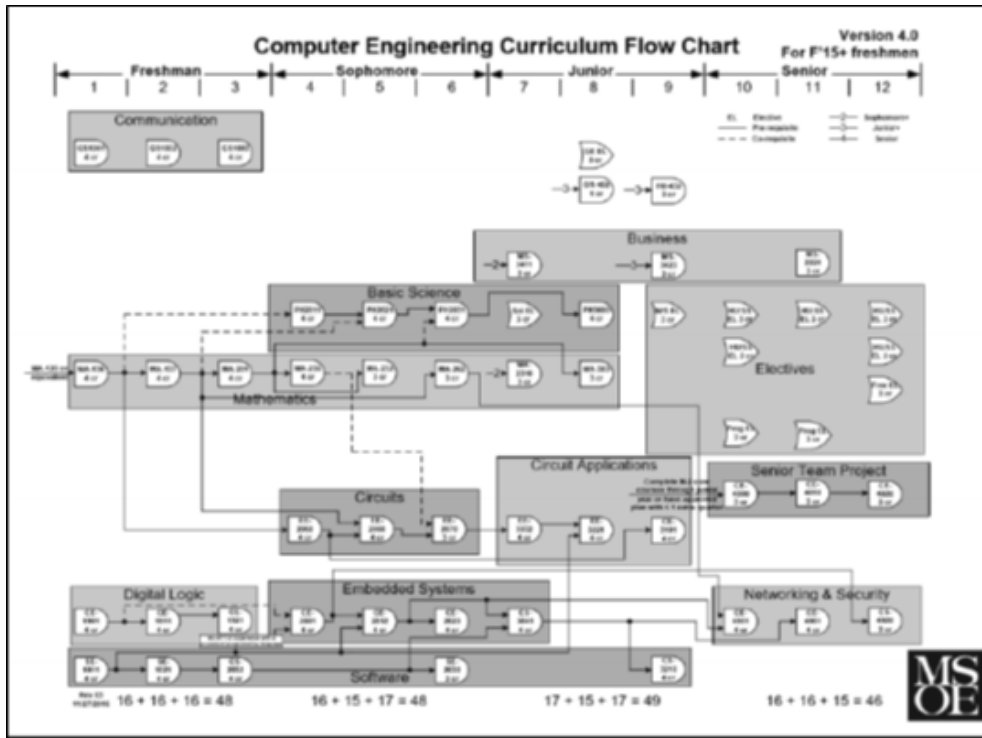


図 3.1.3-8 CE2016 を実現するカリキュラムサンプル(ミルウォーキー工科大学)

Launching Curricular Guideline for Computer Engineering 2016, FIE Panel Presentaion

J07、CE2004、CE2016 のコア時間を対応する科目ごとに表 3.1.3-1 に示す。CE2016 は、上記の 10 年間の状況変化に対応し、CE2004 の領域を 16 から 12 に整理し、領域の統廃合を進めた。

前述したように、420 時間のコア時間は CE2016 では最低限の時間数ととらえており、実際のカリキュラム作成には各組織において柔軟に科目設定をしたうえで、十分な教育が上がるカリキュラムを作成する必要がある。一方、J07 は参照した CE2004 との比較においても大幅な時間数の削減が行われており、IoT の開発を担当するコンピュータ工学出身のエンジニア教育には不安が残るものと言えよう。

そこで、J17 は、これらの観測に基づき、CE2016 の時間数を前提とし、日本の事情に合わせ微調整の必要か否かを議論していくこととする。

表 3.1.3-1 コア時間の対比 : J07 - CE2004 - CE2016

<b>J07</b>	hours	<b>CE2004</b>	hours	<b>CE2016</b>	hours
CE-CSG	22	CE-CSG	43	CE-CAE	50
CE-ALG	22	CE-ALG	30	CE-CAL	30
CE-CAO	27	CE-CAO	63	CE-CAO	60
		CE-CSE	18	CE-SPE	35
CE-DIG	23	CE-DIG	57	CE-DIG	50
CE-ESY	31	CE-ESY	20	CE-ESY	40
CE-NWK	22	CE-NWK	21	CE-NWK	20
CE-SPR	20	CE-SPR	16	CE-PPP	20
				CE-SEC	20
CE-DSP	21	CE-DSP	17	CE-SGP	30
CE-OPS	16	CE-OPS	20	CE-SRM	20
CE-SWE	16	CE-SWE	13	CE-SWD	45
CE-DBS	23	CE-DBS	5		
CE-HCI	7	CE-HCI	8		
CE-PRF	6	CE-PRF	39		
CE-VLS	8	CE-VLS	10		
		CE-ELE	40		
<b>subtotal</b>	<b>264</b>		<b>420</b>		<b>420</b>
				CE-ACF	30
				CE-LAL	30
CE-DSC	23	CE-DSC	33	CE-DSC	30
CE-PRS	21	CE-PRS	33	CE-PRS	30
<b>total</b>	<b>308</b>		<b>486</b>		<b>540</b>