

情報学を専門とする学科対象の
教育カリキュラム標準の策定及び提言

CS

目次

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

WG 構成

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

1. CS 学教育の動向調査

1.1. ACM/IEEE-CS の CS カリキュラム標準

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

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

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

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

1.2. 国内での CS 教育の現状

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

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

1.3. J07-CS の内容

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

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

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

2. カリキュラム標準 J17-CS (要約)

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

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

2.1. 構成

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

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

表 1. 各エリアのコア時間 (J17-CS と CS2013)

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

単位 時間

以下、各エリアのサマリーを載せる。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

計算量理論のうち、コアユニットに含まれない高度な内容を扱うユニットである。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

現

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1.3. Computational Science (CN) 計算科学

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

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

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

シミュレーションへの導入

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

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

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

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

CN/Processing (選択) プロセッシング

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

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

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

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

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

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

CN/Numerical Analysis (選択) 数値解析

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

2.1.4. Discrete Structures (DS) 離散構造

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

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

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

集合、関係、関数に関する基本的事項を扱うユニットである。

DS/Basic Logic (Tier1 : 9 時間) 論理の基礎

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

と視覚化をそれぞれ扱うユニットから構成される。

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

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

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

GV/Basic Rendering (選択) 基本的なレンダリング

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

GV/Geometric Modeling (選択) 幾何モデリング

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

GV/Advanced Rendering (選択) 先進的なレンダリング

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

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

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

GV/Visualization (選択) 視覚化

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

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

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

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

HCI/Foundations (Tier1 : 4 時間) 基礎

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

プロセスのセットである。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IAS/Cryptography (Tier2 : 1 時間) 暗号化

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

IAS/Web Security (選択) Web セキュリティ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1.8. Information Management (IM) 情報管理

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

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

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

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

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

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

IM/Data Modeling (Tier2 : 4時間) データモデル

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

IM/Indexing (選択) 索引付け

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

IM/Relational Databases (選択) 関係データベース

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

IM/Query Languages (選択) 質問言語

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

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

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

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

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

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

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

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

IM/Data Mining (選択) データマイニング

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IS/Advanced Search (選択) 応用探索

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

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

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

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

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

IS/Agents (選択) エージェント

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

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

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

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

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

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

IS/Robotics (選択) ロボット工学

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

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

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

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

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

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

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

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

MR/Character Codes (選択) 文字コード

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

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

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

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

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

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

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

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

ネットワークと通信を扱うエリアである。

このエリアのコア時間は Tier1 が 3 時間、Tier2 が 7 時間である。

NC/Introduction (Tier1 : 1.5 時間) 導入

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NC/Mobility (Tier2 : 1 時間) モビリティ管理

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

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

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

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

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

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

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

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

OS/Concurrency (Tier2 : 4 時間) 並行性

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

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

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

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

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

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

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

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

OS/Virtual Machines (選択) 仮想マシン

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

OS/I/O Management (選択) 入出力管理

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

OS/File Systems (選択) ファイルシステム

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

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

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

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

OS/Fault Tolerance (選択) 耐故障性

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

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

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

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

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

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

PBD/Introduction (選択) 導入

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

PBD/Web Platforms (選択) Web プラットフォーム

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

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

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

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

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

PBD/Game Platforms (選択) ゲームプラットフォーム

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

列処理の分類、命令レベル並列処理、並列アーキテクチャのメモリ技術、ネットワークポロジがある。

PD/Parallel Performance (選択) 並列性能

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

PD/Distributed Systems (選択) 分散システム

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

PD/Cloud Computing (選択) クラウドコンピューティング

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

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

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

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

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

プログラミング言語は、概念の記述、アルゴリズムの定式化、解の考察などをプログラマが正確に行うための道具である。ソフトウェア開発者は、言語ごとに異なるプログラミングモデルと、それらの背景にある設計方針を理解しなければならない。プログラミング

言語を効果的に使用し、かつその限界を知るには、言語処理系、プログラムの静的解析、メモリ管理などの実行時環境についても知る必要がある。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

PL/Syntax Analysis (選択) 構文解析

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

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

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

PL/Code Generation (選択) コード生成

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

PL/Runtime Systems (選択) 実行時システム

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

PL/Static Analysis (選択) 静的解析

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

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

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

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

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

PL/Type Systems (選択) 型システム

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

PL/Formal Semantics (選択) 形式意味論

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

PL/Language Pragmatics (選択) 言語設計の実際

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

PL/Logic Programming (選択) 論理型プログラミング

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

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

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

このエリアのコア時間は Tier1 のみで、43 時間となっている。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ソフトウェアの作成法に関するユニットである。Tier1 のトピックスには、コーディング規約、イディオムがある。Tier2 のトピックスには、防御的コーディング、セキュアなコーディング、例外処理の使い方が含まれる。IAS/Defensive Programming および

SDF/Development Methods と関係がある。

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

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

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

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

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

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

SE/Formal Methods (選択) 形式手法

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SF/Parallelism (Tier1 : 3 時間) 並列処理

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

SF/Evaluation (Tier1 : 3 時間) 性能評価

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

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

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

SF/Proximity (Tier2 : 3 時間) 近接と性能向上

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

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

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

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

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

SF/Quantitative Evaluation (選択) 定量的評価

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

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

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

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

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

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

SP/Analytical Tools (選択) 分析ツール

情報倫理を分析し価値判断する方法に関するユニットである。トピックスには、倫理的

な議論、倫理理論と意思決定、道徳的な前提と価値などがある。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SP/History (選択) 歴史

コンピュータ発達の歴史に関するユニットである。トピックスには、1946 年以前の世界、

コンピュータ発達におけるパイオニア、インターネットの歴史などがある。

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

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

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

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

SP/Social Network (選択) ソーシャル ネットワーク

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

3. ACM/IEEE-CS への報告

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

以下に修正、加筆のあったエリアのみを列挙する。

Architecture and Organization (AR)

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

Computational Science (CN)

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

Graphics and Visualization (GV)

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

Information Management (IM)

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

Intelligent Systems (IS)

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

Media Representation (MR)

元々 CS2013 にはないエリアである。基本構成は J07 の内容を踏襲しているが、CS2013 で分散していた情報理論の項目、デジタル化における標本化、量子化問題、圧縮についてももう少し立ち入った内容を扱えるようなユニットをまとめて扱えるようにしている。特に Character Codes のユニットにおいては、漢字も含めた多種の文字を扱う日本語および

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

Networking and Communication (NC)

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

Operating Systems (OS)

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

Platform-Based Development (PBD)

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

Parallel and Distributed Computing (PD)

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

Software Engineering (SE)

SE/Requirements Engineering の Learning Outcomes の 7. で、ソフトウェア要求のレビューを行うことを要求しているが、ここに、ソフトウェア要求の品質を定めた ISO/IEC/IEEE 29148:2011 を参照することを明記した。また、選択項目に「要求変更の実

実践的な管理プロセスを知っていること」を追加した。SE/Software Construction のコア 1 時間を Tier2 から Tier1 に移した。具体的には、Tier2 の項目「Coding practices: techniques, idioms/patterns」を Tier1 に移動した。SE/Software Verification and Validation も同様に、コア 1 時間を Tier2 から Tier1 に移した。具体的には、Tier2 の項目「Verification and validation concepts」と「Inspections, reviews, audits」を Tier1 に移動した。

Social Issues and Professional Practice (SP)

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

参考文献

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