

カリキュラム標準  
コンピュータ科学J07-CS

報告書（2009年1月20日）

情報処理学会  
コンピュータ科学教育委員会



## 情報処理学会 コンピュータ科学教育委員会

石畑清 ( 幹事 明治大学 )  
板野肯三 ( 筑波大学 )  
大岩元 ( 慶應義塾大学 )  
角田博保 ( 電気通信大学 )  
清水謙多郎 ( 東京大学 )  
玉井哲雄 ( 東京大学 )  
長崎等 ( 共栄大学 )  
中里秀則 ( 早稲田大学 )  
中谷多哉子 ( 筑波大学 )  
野中誠 ( 東洋大学 )  
疋田輝雄 ( 委員長 明治大学 )  
三浦孝夫 ( 法政大学 )  
箕原辰夫 ( 千葉商科大学 )  
和田耕一 ( 筑波大学 )  
渡辺治 ( 東京工業大学 )

## 目次

1	はじめに	1
2	カリキュラムの歴史	1
3	コンピュータ科学の特徴と目標	2
4	知識体系作成の方針	2
5	コンピュータ科学知識体系 CS-BOK-J 2007	2
6	授業科目例の構成	6
	参考文献	9
<b>付録 A</b>	<b>コンピュータ科学知識体系</b>	<b>11</b>
DS	離散構造	14
PF	プログラミングの基礎	18
AL	アルゴリズム	21
AR	アーキテクチャと構成	25
OS	オペレーティングシステム	31
NC	ネットワークコンピューティング	38
PL	プログラミング言語	43
HC	ヒューマンコンピュータインタラクション	50
MR	マルチメディア表現	55
GV	グラフィックスとビジュアル・コンピューティング	58
IS	インテリジェントシステム	64
IM	情報管理	71
SP	社会的視点と情報倫理	79
SE	ソフトウェア工学	84
CN	計算科学と数値計算	91
<b>付録 B</b>	<b>コンピュータ科学科目例</b>	<b>95</b>
A1	離散構造 (1)	98
A2	離散構造 (2)	100
A3	基礎プログラミング (1)	102
A4	基礎プログラミング (2)	104
A5	アルゴリズム (1)	106
A6	アルゴリズム (2)	108
A7	コンピュータシステム序論	110
A8	コンピュータアーキテクチャ	112
A9	オペレーティングシステム	114
A10	コンピュータネットワーク	116
A11	ウェブアプリケーション	118
A12	プログラミング言語	120
A13	ヒューマンコンピュータインタラクション	122
A14	マルチメディア表現論	124
A15	コンピュータ・グラフィックス	126
A16	人工知能 (インテリジェントシステム)	128
A17	情報管理 (データベース)	130

A18	社会における情報技術 . . . . .	132
A19	ソフトウェア工学 (1) . . . . .	134
A20	ソフトウェア工学 (2) . . . . .	136
A21	数値計算 . . . . .	138
B1	コンピュータ科学入門 . . . . .	140
B2	メディア・インタラクション . . . . .	142
B3	データマイニング . . . . .	144

## 図目次

図 1.	コンピュータ科学知識体系 . . . . .	3
図 2.	各エリアのユニット数とコア時間 . . . . .	5
図 3.	科目例一覧およびエリアとの対応 . . . . .	7
図 4.	科目の学年配置例 . . . . .	8
図 1.	コンピュータ科学知識体系 . . . . .	13
図 3.	科目例一覧およびエリアとの対応 . . . . .	97



## 1 はじめに

コンピュータ科学カリキュラム標準 J07-CS は、情報処理学会の 1997 年の J97 すなわち「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」[2] の後継である。米国のコンピューティングカリキュラムコンピュータ科学 CC2001CS[7] を形式および内容の面から参考にし、これに多数の変更と追加を加えたものである。

カリキュラム標準を規定するにはまず、コンピュータ科学知識体系 CS-BOK-J 2007 を規定する。すなわち知識体系とは、学び方ないし教え方を捨象して、学生が学習すべき内容を独立して定めたものである。

知識体系は専門エリア、ユニット、トピックの 3 レベルからなる。専門エリア (area) は 15 分野からなり、さらに、エリアを構成するユニットは、トピックと、ユニットの学習成果からなる。エリアやユニットの内容は、米国案をもとにして、日本の技術および大学教育の実状と最新技術の動向を踏まえて多数の改変を加えた。個々の授業科目 (course) はこの知識体系をもとにして、ユニットを組み合わせて構成する。

今回の CS カリキュラム標準の目標は、J97 の後継として、既存の理系情報学科を想定することに加えて、国際的な整合性、日本の科学技術の特長を活かすこと、および最新技術への考慮である。カリキュラム標準の提示形式の上でこれまでの J97 との大きな違いは、米国版に倣って、科目ではなく学問的な知識体系 (Body of Knowledge) を最初に与えることと、コアユニットとして必修の項目を新たに導入したことである。また、成果主義教育として各ユニットにおける学習成果が設定されている。さらに、24 の具体的な科目構成例が提示されている。

カリキュラム標準は、基準や規約と見なすべきものではなくて、モデルと見なすべきものである。同様に、ユニットから構成する科目は、例であって基準というものではない。なお、コンピュータ科学 (サイエンス) という語についてであるが、英語でのサイエンスは科学ないし理学よりも広い範囲を指すと考えてよい。

## 2 カリキュラムの歴史

米国における情報科学技術分野での最初のカリキュラムモデルは、1968 年のカリキュラム 68 である [6]。その後およそ 5 年から 10 年ごとに (1968, 1978, 1988, 1991), カリキュラムモデルが改定され提示されている。これらははじめは科目を提示していたが、1991 年版からは知識体系を示している。最新のものとしては、5 つの分野においてそれぞれ提示され、コンピュータ科学分野では 2001 年に Computing Curricula 2001 Computer Science が示された。

情報処理学会は 1990 年に大学情報系学科におけるコンピュータ科学の専門教育コアカリキュラムを提言した。さらに 1997 年の J97 では「コンピュータサイエンス」は、この分野の多様性から、情報工学、情報科学、計算機科学、計算機工学などの総称として用いる。また、理論と実際、モデルとインプリメント、解析と合成など、いわば理と工の両面を重視するとしている。コア科目の指定はなく、各学科ごとに科目を選び出すものとする。講義科目としては、リテラシ科目として 2 科目、情報数学系科目として 5 科目、一般の (専門) 科目として 21 科目を提示している。これら以外に大学院科目として 18 科目も示す。

さらに、理工系情報学科の多様性に対応するため、例示するモデル履修コースを 9 種あげ、コースごとに適した科目を示している。9 種のコースとは、情報機器工学、コンピュータ工学、ソフトウェア科学、ソフトウェア設計、知能情報学、マルチメディア、情報ネットワーク、数理情報科学、人間情報科学である。

### 3 コンピュータ科学の特徴と目標

コンピュータ科学 (Computer Science) は、情報処理とコンピュータに関する、基本的であるとされる諸領域 (area) を系統的に扱う、教育・研究分野である。CS のカリキュラムモデルは、米国およびわが国において、1968 年の ACM カリキュラム 68 以来、提示されてきた。わが国の大学理工系情報学科は CS 分野である学科が多いが、米国 CS 学科と同じというわけではなく、より多様である。

コンピュータ科学は、情報とコンピュータの理論的系統的な扱いを主とする。このことによりコンピュータ科学は、それ自身としての重要性とともに、情報の諸分野の基礎としての役割をもつ。またコンピュータ科学はこのことにより、広く他の諸科学工学、さらには文系諸科学への情報・コンピュータ応用における基礎としての役割をもつ。

なお米国の大学教育プログラム認証機関である CAC (Computing Accreditation Commission) で記述を参考にすると、修得すべき知識・能力として、学習・教育目標にはつぎの (1)-(2) を具体化したものが含まれていなければならない。

1. コンピュータを用いたシステムのモデル化および設計に、数学的な基礎、アルゴリズムの諸原理および情報科学の諸理論を応用する能力。
2. 様々な複合性を有するソフトウェアシステムの構築に、設計や開発の諸原理を応用する能力。

すなわち産業界において実際に情報システムに携わる設計者や実務担当者が基本的な素養として持っていなければならない知識と技術を表している。

### 4 知識体系作成の方針

知識体系とは、教育を目的として、教育内容を学問的に体系化したものである。知識体系 CS-BOK-J の作成の基本的な方針は次のとおりである。

- 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、特に米国カリキュラムモデル 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

a) の J97 の後継としての J07-CS とくに CS-BOK-J については、今回の作成作業においてもっとも留意した点である。これまでの J97 からのスムーズな移行と、日本の情報学科の実質を考慮した。一方、カリキュラムモデルは、世の様々な工学的な基準と同様に、これまで以上に国際的な整合性が要求されていることも重視する。c) と d) については説明を要しないであろう。

知識体系の内容およびコアユニットの指定については、さらに検討すべき点は多いと思われる。特にセキュリティに関してが今後の課題であろう。

### 5 コンピュータ科学知識体系 CS-BOK-J 2007

15 の専門エリアからなる。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が列挙され、そしてトピックとしての学習成果がいくつか指定される。図 1 に、コンピュータ科学知識体系 CS-BOK-J のエリアとユニットの一覧を示す。



図 1. コンピュータ科学知識体系

**DS 離散構造 (41)**

- \* DS1 関数, 関係, 集合 (6)
- \* DS2 論理 (6)
- \* DS3 グラフ (4)
- \* DS4 証明技法 (8)
- \* DS5 数え上げと離散確率の基礎 (7)
- \* DS6 オートマトンと正規表現 (6)
- \* DS7 計算論概論 (4)
- DS8 計算論

**PF プログラミングの基礎 (38)**

- \* PF1 プログラミングの基本的構成要素 (9)
- \* PF2 アルゴリズムと問題解決 (6)
- \* PF3 基本データ構造 (14)
- \* PF4 再帰 (5)
- \* PF5 イベント駆動プログラミング (4)

**AL アルゴリズムの基礎 (20)**

- \* AL1 アルゴリズムの解析の基礎 (4)
- \* AL2 アルゴリズム設計手法 (8)
- \* AL3 基本アルゴリズム (8)
- AL4 アルゴリズムの高度な解析
- AL5 高度なアルゴリズムの設計
- AL6 計算量クラス P と NP
- AL7 暗号アルゴリズム
- AL8 幾何アルゴリズム
- AL9 データ分析アルゴリズム
- AL10 並列・分散アルゴリズム

**AR アーキテクチャと構成 (32)**

- \* AR1 論理回路と論理システム (6)
- \* AR2 データのマシンレベルでの表現 (2)
- \* AR3 アセンブリレベルのマシン構成 (7)
- \* AR4 メモリシステムの構成とアーキテクチャ (5)
- \* AR5 インタフェースと通信 (3)
- \* AR6 機能的構成 (7)
- \* AR7 並列処理と様々なアーキテクチャ (2)
- AR8 性能の向上
- AR9 ネットワークと分散システムのためのアーキテクチャ

**OS オペレーティングシステム (17)**

- \* OS1 オペレーティングシステムの概要 (1)
- \* OS2 利用者から見たオペレーティングシステム (1)
- \* OS3 オペレーティングシステムの原理 (1)
- \* OS4 プロセスの構造とスケジューリング (3)
- \* OS5 並行性 (4)
- \* OS6 メモリ管理 (4)
- OS7 入出力デバイス管理と入出力
- \* OS8 ファイルシステム (2)
- \* OS9 認証とアクセス制御 (1)
- OS10 セキュリティと高信頼化
- OS11 リアルタイムシステムと組込みシステム
- OS12 並列・分散処理のためのオペレーティングシステムの機能
- OS13 オペレーティングシステム構成法
- OS14 システム性能評価

**NC ネットワークコンピューティング (14)**

- \* NC1 ネットワークコンピューティング入門 (2)
- \* NC2 通信とネットワーク接続 (7)
- \* NC3 ネットワークセキュリティ (2)
- \* NC4 クライアントサーバコンピューティングの例としてのウェブ (3)
- NC5 分散アプリケーションの構築
- NC6 ネットワーク管理
- NC7 ワイヤレスおよびモバイルコンピューティング
- NC8 マルチメディア情報の配信システム

**PL プログラミング言語 (17)**

- \* PL1 プログラミング言語の概要 (2)
- \* PL2 仮想計算機 (1)
- \* PL3 言語翻訳入門 (2)
- \* PL4 宣言と型 (3)
- \* PL5 抽象化メカニズム (3)
- \* PL6 オブジェクト指向言語 (6)
- PL7 関数型言語
- PL8 論理型言語
- PL9 スクリプト言語
- PL10 言語翻訳システム
- PL11 型システム
- PL12 プログラミング言語の意味論
- PL13 プログラミング言語の設計

**HC ヒューマンコンピュータインタラクション (8)**

- \* HC1 ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎 (6)
- \* HC2 簡単なグラフィカル・ユーザインタフェースの構築 (2)
- HC3 人間中心のソフトウェア評価
- HC4 人間中心のソフトウェア開発
- HC5 グラフィカル・ユーザインタフェースの設計
- HC6 グラフィカル・ユーザインタフェースのプログラミング
- HC7 マルチメディアシステムの HCI 的側面
- HC8 協同作業とコミュニケーションの HCI 的側面

**MR マルチメディア表現 (3)**

- \* MR1 情報のデジタル表現 (2)
- \* MR2 文字コード (1)
- MR3 標本化, 量子化, 圧縮の原理とアルゴリズム
- MR4 マルチメディア機器
- MR5 オーサリング

**GV グラフィックスとビジュアル・コンピューティング (9)**

- \* GV1 グラフィックスにおける基礎技術 (2)
- \* GV2 グラフィック・システム (1)
- GV3 2次元画像の生成と加工
- GV4 モデリング
- GV5 レンダリング
- GV6 コンピュータ・アニメーション
- GV7 視覚化
- GV8 仮想現実 (VR)
- GV9 コンピュータ・ビジョン

**IS インテリジェントシステム (5)**

- \* IS1 インテリジェントシステムの基本的問題 (3)
- \* IS2 探索および制約充足 (2)
- IS3 知識表現および推論
- IS4 高度な探索
- IS5 高度な知識表現と推論
- IS6 エージェント
- IS7 自然言語処理
- IS8 機械学習とニューラルネットワーク
- IS9 プランニングシステム
- IS10 ロボット工学

**IM 情報管理 (14)**

- \* IM1 情報モデルとシステム (2)
- \* IM2 データベースシステム (2)
- \* IM3 データモデリング (4)
- \* IM4 関係データベース (3)
- \* IM5 データベース問合わせ言語 (3)
- IM6 関係データベース設計とデータ操作
- IM7 トランザクション処理
- IM8 分散データベース
- IM9 データベースの物理設計
- IM10 データマイニング
- IM11 情報格納と情報検索
- IM12 ハイパーテキストとハイパーメディア
- IM13 マルチメディアデータベース

**SP 社会的視点と情報倫理 (11)**

- \* SP1 コンピュータの歴史 (1)
- \* SP2 社会におけるコンピュータ (2)
- SP3 倫理・価値判断の方法
- \* SP4 専門家としての倫理的責任 (3)
- SP5 コンピュータ・ベース・システムのリスクと脆弱性
- \* SP6 知的財産権 (3)
- \* SP7 プライバシーと市民的自由 (2)
- SP8 コンピュータ犯罪
- SP9 コンピュータにおける経済問題
- SP10 哲学的枠組み

**SE ソフトウェア工学 (32)**

- \* SE1 ソフトウェア設計 (8)
- \* SE2 API の使用 (5)
- \* SE3 ソフトウェアツールおよび環境 (3)
- \* SE4 ソフトウェアプロセス (2)
- \* SE5 ソフトウェア要求および仕様 (5)
- \* SE6 ソフトウェア妥当性検査 (3)
- \* SE7 ソフトウェアの進化 (3)
- \* SE8 ソフトウェアプロジェクト管理 (3)
- SE9 コンポーネントベース開発
- SE10 形式手法
- SE11 ソフトウェアの信頼性
- SE12 専用システムの開発

**CN 計算科学と数値計算 (0)**

- CN1 数値解析
- CN2 オペレーションズリサーチ
- CN3 モデリングとシミュレーション
- CN4 ハイパフォーマンス・コンピューティング

エリア, ユニットとも, 行末の括弧内はコアの最低履修時間である。

コンピュータ科学の知識体系としてのこのような再構成は、学問的なものであり、同時に教育的なものでもある。つまり、現時点でのコンピュータ科学としての科学・工学的な構造を示すものであるが、必ずしも学問的な厳密性を追及したのではなく、教える順序などの、教育上の効率や便宜も考慮する。たとえば教育上で、入門としての役割だけをもつユニットがいくつかある。

ユニットのうちのいくつかはコアユニットである。これは図では時間数の指定のあるユニットである。コアユニットは必修を表し、コンピュータ科学を履修するすべての学生がこれらのユニットは履修することを想定していることを示す。従って、ユニットから授業科目を構成する際に、すべてのコアユニットは一式のカリキュラムのどこかの科目に必ず含まれていることが要請される。

なお、知識体系は専門分野についてのものであり、学部教育はこれらだけで済むものではない。BOK 以外的一般教育として、次の 5 つがある。

- 1) 数学（解析，線形代数，確率統計，論理等）
- 2) 科学の能力
- 3) 実際分野への応用力
- 4) コミュニケーション能力（語学等）
- 5) チームとしての協調力

たとえば数学では、離散数学や論理の一部などは専門知識として知識体系内に規定するが、これら以外は知識体系には規定しない。

図 2 に、知識体系 CS-BOK-J の 15 の専門エリアの、ユニット数、コアユニット数、コア講義時間、CC2001CS でのコア講義時間の一覧を示す。このコア講義時間とは、ユニットを講義として学習する場合での最低履修時間数を示す。

## 5.1 学習成果

学習成果は、そのユニットの学習を終えた学生が持っているなければならない能力を示す。そのユニットを教える側の内容を示すのではないことが重要である。各ユニットにおける学習成果の設定は、とくにコアユニットの場合に、必修の内容を具体的に示すという意味で重要である。

## 5.2 米国との比較

知識体系 CS-BOK-J は、エリア数 15、ユニット総数 138 である。米国知識体系 CC2001CS では 14 エリアであり、それに比べて、マルチメディア表現 MR というエリアを新設している。そこでは、コアユニットとして情報のデジタル表現と文字コード、およびその他のマルチメディアに関するユニットがある。

コアユニットの講義としての総時間数は、米国 CC2001CS の BOK では 280 時間であり、CS-BOK-J では 255 時間である。これは日本の大学理工系における実状、特に卒業研究が時間的に大きい割合を占めていることに対応するものである。

CC2001CS では学習目的であり学生側の得た能力が教員側の内容かが曖昧であったが、CS-BOK-J では明確化した。

## 5.3 J97 との比較

カリキュラム J97 との相違点は、科目ではなく知識体系を与えること、ユニットごとの学習成果の明示、そして、コアユニットとして必修の考え方を導入したことである。また J97 と異なり、今回の提言では、CS 以外の 4 分野と並んでカリキュラムの提示を行なう。コンピュータ科学という名称により即した内容の提案であるといえる。

図 2. 各エリアのユニット数とコア時間

エリア名	ユニッ ト数	コアユニ ット数	コア 時間	コア時間 (米国)
DS 離散構造	8	7	41	43
PF プログラミングの基礎	5	5	38	38
AL アルゴリズム	10	3	20	31
AR アーキテクチャと構成	9	7	32	36
OS オペレーティングシステム	14	8	17	18
NC ネットワークコンピューティング	8	4	14	15
PL プログラミング言語	13	6	17	21
HC ヒューマンコンピュータインタラクション	8	2	8	8
MR マルチメディア表現	5	2	3	-
GV グラフィックスとビジュアル・コンピューティング	9	2	3	3
IS インテリジェントシステム	10	2	5	10
IM 情報管理	13	5	14	10
SP 社会的視点と情報倫理	10	5	11	16
SE ソフトウェア工学	12	8	32	31
CN 計算科学と数値計算	4	0	0	0
計	138	66	255	280

## 6 授業科目例の構成

### 6.1 方針

このカリキュラム標準では、個々の授業科目は、その大学および学科の目標、特徴や状況に応じて、ユニットをいくつか組み合わせて構成する。この報告では、科目の構成の具体的な構成例として、24の科目を示す。これはあくまで構成例であって、何らかの基準となるものではない。

15の各専門エリアに対応して、そのエリアでのコアユニットをすべてカバーするような、21の科目例を示す。ここでは、日本での多い例に応じて、90分15週の講義科目(2単位)として構成している。特に6つのエリアでは、2つの科目(4単位)となっていて、6つのエリアとは、離散構造、プログラミングの基礎、アルゴリズム、アーキテクチャと構成、ネットワークコンピューティング、ソフトウェア工学である。図3に、科目例の一覧と、それらがBoKのエリアにどう対応しているかを示す。

またこれらとは別に、複数のエリアにまたがるような科目の例として、つぎの3つの科目の構成例を示している。これらは、入門的初等的な科目(B1, B2)、または上級応用的な科目等の例である(B3)。

B1: コンピュータ科学入門

B2: メディア・インタラクション

B3: データマイニング

専門科目での必修科目の単位数は、コアユニットのカバーの仕方や実現法(講義、演習、実習等)によるが、およそ40単位以上である。

ここでは講義、演習、実習、プロジェクト、卒業研究のどの形で授業を実現するかは、ユニットの内容や学習成果によって選ぶことになるが、この報告では講義の形で提示する。初歩のプログラミングなどは、講義に付属する演習や、単独の演習や実習を行うことが望ましいのは当然である。

大学の学科がコアユニットをすべてカバーするようなカリキュラムを用意することは、学生への教育の最低限の保証を意味する。それ以上の、平均的レベルの教育、およびエキスパートレベルの教育のための科目は、この報告では用意していないが、コアでないユニットをも適宜組み合わせることで実現される。

### 6.2 科目の表示

各科目はつぎの5項目によって構成されている。先修ユニット、講義項目、講義計画例(15回)、カバーするコアユニット、そして教科書・参考書である。

先修ユニットはこのユニットを履修するためにあらかじめ必要なユニットである。ただしこれは履修者の便宜のための項目であり、これを厳格に捉えずぎてはならない。講義項目はユニットのトピックにあたるものであるが、履修者の便宜のためのものである。講義計画例は、15回の授業のおよその配分を示す。カバーするコアユニットでは、場合によってはユニットの一部をカバーするときもある。教科書・参考書には、その講義の標準的教科書、あるいは入門書や参考書など様々の場合がある。履修者ないし講義をするための参考のためのものであり、標準であると指定しているわけではない。

### 6.3 カリキュラムの編成

図4に科目の学年配置の例を示す。この表には、一般教育が含まれていないと同じく、応用科目、高度の科目や卒業研究がほとんど含まれないことを注意する。

図 3. 科目例一覧およびエリアとの対応

	講義科目名	BoK エリア
A1	離散構造 (1)	DS 離散構造
A2	離散構造 (2)	DS 離散構造
A3	基礎プログラミング (1)	PF プログラミングの基礎
A4	基礎プログラミング (2)	PF プログラミングの基礎
A5	アルゴリズム (1)	AL アルゴリズム
A6	アルゴリズム (2)	AL アルゴリズム
A7	コンピュータシステム序論	AR アーキテクチャと構成
A8	コンピュータアーキテクチャ	AR アーキテクチャと構成
A9	オペレーティングシステム	OS オペレーティングシステム
A10	コンピュータネットワーク	NC ネットワークコンピューティング
A11	ウェブアプリケーション	NC ネットワークコンピューティング
A12	プログラミング言語	PL プログラミング言語
A13	ヒューマンコンピュータインタラクション	HC ヒューマンコンピュータインタラクション
A14	マルチメディア表現論	MR マルチメディア表現
A15	コンピュータグラフィックス	GV グラフィックスとビジュアル・コンピューティング
A16	人工知能 (インテリジェントシステム)	IS インテリジェントシステム
A17	情報管理 (データベース)	IM 情報管理
A18	社会における情報技術	SP 社会的視点と情報倫理
A19	ソフトウェア工学 (1)	SE ソフトウェア工学
A20	ソフトウェア工学 (2)	SE ソフトウェア工学
A21	数値計算	CN 計算科学と数値計算
B1	コンピュータ科学入門	
B2	メディア・インタラクション	
B3	データマイニング	

図 4. 科目の学年配置例

講義科目名	1年 前期	1年 後期	2年 前期	2年 後期	3年 前期	3年 後期	4年 前期	4年 後期
A1 離散構造 (1)								
A2 離散構造 (2)								
A3 基礎プログラミング (1)								
A4 基礎プログラミング (2)								
A5 アルゴリズム (1)								
A6 アルゴリズム (2)								
A7 コンピュータシステム序論								
A8 コンピュータアーキテクチャ								
A9 オペレーティングシステム								
A10 コンピュータネットワーク								
A11 ウェブアプリケーション								
A12 プログラミング言語								
A13 ヒューマンコンピュータインタラクション								
A14 マルチメディア表現論								
A15 コンピュータグラフィックス								
A16 人工知能 (インテリジェントシステム)								
A17 情報管理 (データベース)								
A18 社会における情報技術								
A19 ソフトウェア工学 (1)								
A20 ソフトウェア工学 (2)								
A21 数値計算								
B1 コンピュータ科学入門								
B2 メディア・インタラクション								
B3 データマイニング								

## 参考文献

- [1] 情報処理学会：大学等における情報処理教育のための調査研究報告書, 1991年3月.
- [2] 情報処理学会：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, 1999年9月.
- [3] 情報処理学会情報処理教育委員会 J07プロジェクト連絡委員会：情報専門学科におけるカリキュラム標準 J07 (中間報告), 2007-07-31.
- [4] 情報処理学会コンピュータ科学教育委員会：コンピュータ科学知識体系 CS-BOK-J 2007, 2008-03-13. コンピュータ科学知識体系 CS-BOK-J 2007 カリキュラム例, 2008-03-13.
- [5] 足田：コンピュータ科学領域 (J07-CS), 情報処理, Vol.49, No.7, 2008, 7月号, pp.728-735.
- [6] ACM Curriculum Committee on Computer Science：Curriculum '68: Recommendations for the undergraduate program in computer science, Comm. ACM, 11(3) 151-197, 1968.
- [7] The Joint Task Force on Computing Curricula：Computing Curricula2001: Computer Science, Final Report, Dec. 15, 2001, IEEE Computer Society, ACM.





# 付録 A

## コンピュータ科学 知識体系 CS-BOK-J 2007

2009年1月20日

情報処理学会 コンピュータ科学教育委員会



図 1. コンピュータ科学知識体系

**DS 離散構造 (41)**

- \* DS1 関数, 関係, 集合 (6)
- \* DS2 論理 (6)
- \* DS3 グラフ (4)
- \* DS4 証明技法 (8)
- \* DS5 数え上げと離散確率の基礎 (7)
- \* DS6 オートマトンと正規表現 (6)
- \* DS7 計算論概論 (4)
- DS8 計算論

**PF プログラミングの基礎 (38)**

- \* PF1 プログラミングの基本的構成要素 (9)
- \* PF2 アルゴリズムと問題解決 (6)
- \* PF3 基本データ構造 (14)
- \* PF4 再帰 (5)
- \* PF5 イベント駆動プログラミング (4)

**AL アルゴリズムの基礎 (20)**

- \* AL1 アルゴリズムの解析の基礎 (4)
- \* AL2 アルゴリズム設計手法 (8)
- \* AL3 基本アルゴリズム (8)
- AL4 アルゴリズムの高度な解析
- AL5 高度なアルゴリズムの設計
- AL6 計算量クラス P と NP
- AL7 暗号アルゴリズム
- AL8 幾何アルゴリズム
- AL9 データ分析アルゴリズム
- AL10 並列・分散アルゴリズム

**AR アーキテクチャと構成 (32)**

- \* AR1 論理回路と論理システム (6)
- \* AR2 データのマシンレベルでの表現 (2)
- \* AR3 アセンブリレベルのマシン構成 (7)
- \* AR4 メモリシステムの構成とアーキテクチャ (5)
- \* AR5 インタフェースと通信 (3)
- \* AR6 機能的構成 (7)
- \* AR7 並列処理と様々なアーキテクチャ (2)
- AR8 性能の向上
- AR9 ネットワークと分散システムのためのアーキテクチャ

**OS オペレーティングシステム (17)**

- \* OS1 オペレーティングシステムの概要 (1)
- \* OS2 利用者から見たオペレーティングシステム (1)
- \* OS3 オペレーティングシステムの原理 (1)
- \* OS4 プロセスの構造とスケジューリング (3)
- \* OS5 並行性 (4)
- \* OS6 メモリ管理 (4)
- OS7 入出力デバイス管理と入出力
- \* OS8 ファイルシステム (2)
- \* OS9 認証とアクセス制御 (1)
- OS10 セキュリティと高信頼化
- OS11 リアルタイムシステムと組込みシステム
- OS12 並列・分散処理のためのオペレーティングシステムの機能
- OS13 オペレーティングシステム構成法
- OS14 システム性能評価

**NC ネットワークコンピューティング (14)**

- \* NC1 ネットワークコンピューティング入門 (2)
- \* NC2 通信とネットワーク接続 (7)
- \* NC3 ネットワークセキュリティ (2)
- \* NC4 クライアントサーバコンピューティングの例としてのウェブ (3)
- NC5 分散アプリケーションの構築
- NC6 ネットワーク管理
- NC7 ワイヤレスおよびモバイルコンピューティング
- NC8 マルチメディア情報の配信システム

**PL プログラミング言語 (17)**

- \* PL1 プログラミング言語の概要 (2)
- \* PL2 仮想計算機 (1)
- \* PL3 言語翻訳入門 (2)
- \* PL4 宣言と型 (3)
- \* PL5 抽象化メカニズム (3)
- \* PL6 オブジェクト指向言語 (6)
- PL7 関数型言語
- PL8 論理型言語
- PL9 スクリプト言語
- PL10 言語翻訳システム
- PL11 型システム
- PL12 プログラミング言語の意味論
- PL13 プログラミング言語の設計

**HC ヒューマンコンピュータインタラクション (8)**

- \* HC1 ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎 (6)
- \* HC2 簡単なグラフィカル・ユーザインタフェースの構築 (2)
- HC3 人間中心のソフトウェア評価
- HC4 人間中心のソフトウェア開発
- HC5 グラフィカル・ユーザインタフェースの設計
- HC6 グラフィカル・ユーザインタフェースのプログラミング
- HC7 マルチメディアシステムの HCI 的側面
- HC8 協同作業とコミュニケーションの HCI 的側面

**MR マルチメディア表現 (3)**

- \* MR1 情報のデジタル表現 (2)
- \* MR2 文字コード (1)
- MR3 標本化, 量子化, 圧縮の原理とアルゴリズム
- MR4 マルチメディア機器
- MR5 オーサリング

**GV グラフィックスとビジュアル・コンピューティング (9)**

- \* GV1 グラフィックスにおける基礎技術 (2)
- \* GV2 グラフィック・システム (1)
- GV3 2次元画像の生成と加工
- GV4 モデリング
- GV5 レンダリング
- GV6 コンピュータ・アニメーション
- GV7 視覚化
- GV8 仮想現実 (VR)
- GV9 コンピュータ・ビジョン

**IS インテリジェントシステム (5)**

- \* IS1 インテリジェントシステムの基本的問題 (3)
- \* IS2 探索および制約充足 (2)
- IS3 知識表現および推論
- IS4 高度な探索
- IS5 高度な知識表現と推論
- IS6 エージェント
- IS7 自然言語処理
- IS8 機械学習とニューラルネットワーク
- IS9 プランニングシステム
- IS10 ロボット工学

**IM 情報管理 (14)**

- \* IM1 情報モデルとシステム (2)
- \* IM2 データベースシステム (2)
- \* IM3 データモデリング (4)
- \* IM4 関係データベース (3)
- \* IM5 データベース問合わせ言語 (3)
- IM6 関係データベース設計とデータ操作
- IM7 トランザクション処理
- IM8 分散データベース
- IM9 データベースの物理設計
- IM10 データマイニング
- IM11 情報格納と情報検索
- IM12 ハイパーテキストとハイパーメディア
- IM13 マルチメディアデータベース

**SP 社会的視点と情報倫理 (11)**

- \* SP1 コンピュータの歴史 (1)
- \* SP2 社会におけるコンピュータ (2)
- SP3 倫理・価値判断の方法
- \* SP4 専門家としての倫理的責任 (3)
- SP5 コンピュータ・ベース・システムのリスクと脆弱性
- \* SP6 知的財産権 (3)
- \* SP7 プライバシーと市民的自由 (2)
- SP8 コンピュータ犯罪
- SP9 コンピュータにおける経済問題
- SP10 哲学的枠組み

**SE ソフトウェア工学 (32)**

- \* SE1 ソフトウェア設計 (8)
- \* SE2 API の使用 (5)
- \* SE3 ソフトウェアツールおよび環境 (3)
- \* SE4 ソフトウェアプロセス (2)
- \* SE5 ソフトウェア要求および仕様 (5)
- \* SE6 ソフトウェア妥当性検査 (3)
- \* SE7 ソフトウェアの進化 (3)
- \* SE8 ソフトウェアプロジェクト管理 (3)
- SE9 コンポーネントベース開発
- SE10 形式手法
- SE11 ソフトウェアの信頼性
- SE12 専用システムの開発

**CN 計算科学と数値計算 (0)**

- CN1 数値解析
- CN2 オペレーションズリサーチ
- CN3 モデリングとシミュレーション
- CN4 ハイパフォーマンス・コンピューティング

エリア, ユニットとも, 行末の括弧内はコアの最低履修時間である。

# 離散構造 ( DS )

情報に関わる科学技術を勉強していく中で必要となる数学的な素養となる知識ユニット群である。具体的な目標は、数学的知識ではなく、数学で築かれてきた重要な概念を使い、記号を正しく使って論理的に解明していくことができるようにすることである。そのためには、単に記号や概念の定義や意味を教えるのではなく、適切な題材を用いて直感を数学的・形式的に明確に表すことを学ばせる必要がある。

## DS1 関数，関係，集合 [コア 最低履修時間 6 時間]

### トピックス

#### 集合

ベン図，補集合，デカルト積，べき集合

#### 関数

全射，単射，逆関数，合成，濃度と可算性

#### 関係 (主に二項関係)

反射律，対称律，推移律，同値関係，同値類

### 学習成果

1. 具体例を用い，集合，関数，関係などに関する用語や記号を説明できる。
2. 具体例を，集合，関数，関係などの記号で形式的に記述することができる。
3. 集合，関数，関係の演算や操作を具体的な例の上で行うことができる。

## DS2 論理 [コア 最低履修時間 6 時間]

### トピックス

#### 命題論理

論理記号，真理値表，標準形 (和積標準形と積和標準形)，恒真性

#### 述語論理

全称記法，存在記法

#### 証明法

三段論法，対偶

### 学習成果

1. 命題論理や述語論理の用語や記号の意味と使用法を説明できる。
2. 簡単な概念を論理の記号を用いて形式的に記述できる。
3. 身近な具体的な問題の仕様を形式的に記述し，その解法を論理的に分析し説明できる。

## DS3 グラフ [コア 最低履修時間 4 時間]

### トピックス

#### グラフ

無向グラフ, 有向グラフ

#### 二項関係とグラフ

推移閉包

#### 木

全域木, 巡回戦略

### 学習成果

1. グラフ理論の基本用語や, グラフに関する様々な性質を, 例を用いて説明できる。
2. 木の巡回戦略を再帰的(帰納的)に説明できる。

## DS4 証明技法 [コア 最低履修時間 8 時間]

### トピックス

含意, 逆, 否定, 対偶, 矛盾

推論規則, 公理, 定理

形式的証明の構造

#### 証明技法

反例による証明, 対偶による証明, 背理法

数学的帰納法

帰納法の原理, 帰納法の使い方, 再帰的定義

### 学習成果

1. 各証明法に対し, 証明の例を挙げて, その特徴を説明できる。
2. 数学的帰納法を再帰や再帰的に定義された構造に適用できる。

## DS5 数え上げと離散確率の基礎 [コア 最低履修時間 7 時間]

### トピックス

#### 数え上げ論法

和と積の法則, 包除原理, 算術数列と幾何数列, 鳩の巣原理

#### 順列と組合せ

基本定義, パスカルの三角形, 二項定理

#### 漸化式の解法

典型例, 分類定理

#### 離散確率の基礎

条件付き確率, 独立性, ベイズの定理, 期待値, 分散

## 学習成果

1. 順列や組合せを列挙することができる。具体的な応用の中で、それらの意味を説明できる。
2. 問題を解析し関連する漸化式を作成できる、問題の中にある数え上げ構造を説明できる。
3. 具体例を用いて、離散確率の概念を説明できる。
4. 代表的な確率事象に対して、その期待値や分散を計算できる。

## DS6 オートマトンと正規表現 [コア 最低履修時間 6 時間]

### トピックス

正規表現

有限オートマトン

決定性有限オートマトン (DFA), 非決定性有限オートマトン (NFA)

DFA と NFA の等価性

正規表現と有限オートマトンの等価性

### 学習成果

1. 具体例を用いて有限オートマトンに関する諸概念を説明できる。
2. 正規言語に対する同値な表現方法間 (DFA, NFA, 正規表現) の変換ができる。

## DS7 計算論概論 [コア 最低履修時間 4 時間]

### トピックス

文法の基本とチョムスキー階層

正規言語, 文脈自由言語

オートマトン型の計算モデル

計算可能性・不可能性

様々な計算モデル

### 学習成果

1. チョムスキー階層の各言語クラスの違いを認識機械の差として説明できる。
2. 正規言語と文脈自由言語の違いを具体的に示すことができる。
3. 計算不可能性を論じるための枠組みを説明できる。

## DS8 計算論 [選択]

### トピックス

チョムスキー階層

正規言語，文脈自由言語，文脈依存言語，帰納的言語

チューリング機械

計算モデルとしてのラムダ計算

帰納的関数

計算不可能関数

停止問題，計算不可能性から導かれること

実質的に計算可能・不可能な問題

### 学習成果

1. チョムスキー階層での各クラスの違いを複数の観点から説明できる。
2. 与えられた言語のチョムスキー階層での位置付け（正規言語，文脈自由言語，文脈依存言語，帰納的言語）を判断できる。
3. 計算不可能性の証明をヒントをもとに説明できる。
4. チューリング機械モデル，ラムダ計算モデル，帰納的関数の三つが，同じ計算モデルを定義していることを説明できる。

# プログラミングの基礎 ( PF )

コンピュータ科学において、プログラミング言語を習得することは必要不可欠である。少なくとも一つのプログラミング言語を十分使えるようになり、さらにプログラミングパラダイムの異なる2種類の言語に堪能になるように教えるべきである。

この知識分野は、プログラミングの実践に不可欠な技術および概念から成っており、どのパラダイムを基礎とするかに依存するものではない。このエリア ( PF ) には基本的プログラミング概念、基本データ構造、およびアルゴリズムのプロセスに関するユニットが含まれているが、これだけでは、コンピュータ科学の学生が習得しなければならないプログラミング知識のすべての範囲をカバーすることはできない。プログラミングに関連するユニットは、プログラミング言語 ( PL ) やソフトウェア工学 ( SE ) といった他の多くのエリアの中にも含まれている。

## PF1 プログラミングの基本的構成要素 [コア 最低履修時間 9 時間]

### トピックス

高水準言語の基本構文と意味論  
変数、型、式、代入  
単純な入出力  
条件判定と繰返しの制御構造  
関数と引数受渡し  
構造的分解

### 学習成果

1. このユニットで述べる範囲のプログラミングの基本的構成要素を含んだ簡単なプログラムの動作を分析し、説明できる。
2. 標準的な条件判定と繰返しの制御構造と関数を使った、短いプログラムを修正し、拡張することができる。
3. 基本演算、単純な入出力、標準的な条件判定と繰返しの制御構造、関数の定義といった、プログラミングの基本的構成要素を使ったプログラムを設計し、実現、テスト、デバッグすることができる。
4. 与えられたプログラミングタスクのために、適切な条件判定と繰返しの制御構造を選択することができる。
5. プログラムをより小さな部分に分割するために、構造的 ( 機能的 ) 分解技術を適用することができる。
6. 引数受渡しの仕組みを説明できる。

## PF2 アルゴリズムと問題解決 [コア 最低履修時間 6 時間]

### トピックス

問題解決戦略  
問題解決過程におけるアルゴリズムの役割



アルゴリズムの実現戦略  
デバッグ戦略  
アルゴリズムの概念と特性

## 学習成果

1. 問題解決過程におけるアルゴリズムの重要性について議論することができる。
2. よいアルゴリズムに何が必要とされるかを説明できる。
3. 簡単な問題を解くためのアルゴリズムを作り出すことができる。
4. 簡単な問題を解くためのアルゴリズムを実現，テスト，デバッグするために，擬似コードまたはプログラミング言語を使うことができる。
5. デバッグに役立つ戦略を説明できる。

## PF3 基本データ構造 [コア 最低履修時間 14 時間]

### トピックス

基本型  
配列  
レコード  
文字列と文字列処理  
メモリ内でのデータの表現  
静的割当て，スタック割当て，ヒープ割当て  
実行時記憶管理  
ポインタと参照  
連結構造  
スタック，キューおよびハッシュ表の実現戦略  
グラフと木の実現戦略  
適切なデータ構造を選択するための戦略

## 学習成果

1. 基本データ型と組み込みデータ構造の表現および使用について議論することができる。
2. トピックスに示した各データ構造がメモリ内でどのように割り当てられ，使われるかを説明できる。
3. トピックスに示した各データ構造の典型的な応用例を説明できる。
4. 高水準言語を用いてユーザ定義のデータ構造を実現することができる。
5. データ構造のいくつかの実現を効率の観点から比較することができる。
6. 次の各データ構造を使うプログラムを書くことができる：配列，レコード，文字列，連結リスト，スタック，キュー，ハッシュ表。
7. データ構造の動的実現と静的実現のコストと効果について比較対照することができる。
8. 与えられた問題をモデル化するための適切なデータ構造を選ぶことができる。

## PF4 再帰 [コア 最低履修時間 5 時間]

### トピックス

再帰の概念  
再帰的数学関数  
簡単な再帰の手続き  
分割統治法  
再帰的バックトラック法  
再帰の実現

### 学習成果

1. 再帰の概念を説明し，その使用例を示すことができる。
2. 再帰的に定義された問題の基底部分と帰納部分を識別することができる。
3. 階乗のような初歩的な問題の反復解法と再帰的解法を比較することができる。
4. 分割統治法を説明できる。
5. 簡単な再帰的関数や手続きを実現，テスト，デバッグすることができる。
6. スタックを用いた再帰の実現法を説明できる。
7. バックトラック法が適切な解法となる問題について議論することができる。
8. ある問題に対して再帰的解法が適している場合を判定できる。

## PF5 イベント駆動プログラミング [コア 最低履修時間 4 時間]

### トピックス

イベント処理手法  
イベント伝播  
例外処理

### 学習成果

1. イベント駆動プログラミングとコマンドラインプログラミングの違いを説明できる。
2. ユーザイベントに応える簡単なイベント駆動プログラムを設計し，コーディング，テスト，デバッグすることができる。
3. 実行時に起きる例外条件に反応するコードを開発することができる。

# アルゴリズム (AL)

様々な処理の基本となるアルゴリズムの設計手法の基礎となる知識ユニット群である。計算量の概念を理解し，アルゴリズムの効率を意識しつつ，適切な設計方針・設計手法を選択できる能力を身につけさせることを目標とする。そのためには，適宜，演習や実習を導入するのがよい。

## AL1 アルゴリズムの解析の基礎 [コア 最低履修時間 4 時間]

### トピックス

#### 計算量の解析

時間計算量，領域計算量

最良，平均，最悪時の振る舞いの違いの区別

計算量の漸近的解析，大きな  $O$  記法

性能の実験的な測定

漸化式を用いた再帰的アルゴリズムの解析

### 学習成果

1. アルゴリズムの効率を測る計算量の概念を具体例で説明できる。
2. 大きな  $O$  記法を正しく使うことができる。
3. 単純なアルゴリズムの時間と領域の計算量を分析し説明できる。
4. アルゴリズムの漸近的な計算量と実性能の議論を結び付けることができる。

## AL2 アルゴリズム設計手法 [コア 最低履修時間 8 時間]

### トピックス

#### 二分探索法

再帰を用いたアルゴリズム設計法

分割統治法

動的計画法

一般探索法

深さ優先探索，幅優先探索

バックトラック法，貪欲法

ヒューリスティックス

### 学習成果

1. 再帰を用いてアルゴリズムを設計することができる。
2. 各設計法（二分探索法，分割統治法，動的計画法）を用いて基本的な問題に対するアルゴリズムの設計ができる。
3. 深さ優先探索と幅優先探索の違いを説明できる。

## AL3 基本アルゴリズム [コア 最低履修時間 8 時間]

### トピックス

#### 基本データ処理アルゴリズム

整列アルゴリズム(クイックソート, マージソート)

探索アルゴリズム(ヒープ, 二分探索木), ハッシュ

文字列・テキスト処理アルゴリズム(線形時間パターンマッチングアルゴリズム)

グラフ処理アルゴリズム(グラフ探索, 最短経路, 全域木計算)

### 学習成果

1. コンピュータ科学の基礎となる処理(基本データ処理, 文字列・テキスト処理, グラフ処理)に対する代表的なアルゴリズムに対し, その記述が与えられたとき, その仕組み, 正当性, 計算量などを説明できる。

## AL4 アルゴリズムの高度な解析 [選択]

### トピックス

小さな  $o$  記法,  $\Theta$  記法,  $\Omega$  記法, 標準的な計算量クラス

ならし解析(amortized analysis)

アルゴリズムにおける時間と領域のトレードオフ

### 学習成果

1. 代表的な例に対して, ヒントをもとに, 計算量のならし解析を説明できる。
2. 例を用いてアルゴリズムにおける時間と領域のトレードオフを説明できる。

## AL5 高度なアルゴリズムの設計 [選択]

### トピックス

#### 各種探索アルゴリズム

分枝限定法, A\*アルゴリズム

#### 各種近似アルゴリズム

乱択アルゴリズム(randomized algorithm)

オンラインアルゴリズム

### 学習成果

1. 最近のアルゴリズムに対して, 適切な文献を参考にしながら, その基本となる設計技法を示すことができ, その上で, 問題の特性を利用した工夫点を評価できる。
2. 実際の計算問題に対し, どのアルゴリズム技法が適しているかを判断できる。
3. 実際の情報処理において, それをどのような計算と捉え, アルゴリズムを設計すればよいかを判断できる。

## AL6 計算量クラス P と NP [選択]

### トピックス

- クラス P と NP の定義
- 還元の技法
- 代表的な NP 完全問題
  - NP 完全性 (クック・レヴィンの定理)
  - NP 完全問題の計算量

### 学習成果

1. クラス P と NP が定義できる。
2. NP 完全性の重要さを説明できる。
3. 代表的 NP 完全問題の NP 完全性を、他の NP 完全問題からの還元により証明できる。

## AL7 暗号アルゴリズム [選択]

### トピックス

- 暗号の歴史の概観
- 秘密鍵暗号と鍵交換問題
- 公開鍵暗号
  - デジタル署名
- 整数論的アルゴリズム
- 情報セキュリティプロトコル

### 学習成果

1. 効率的で基本的な整数論的アルゴリズムを記述できる。
2. 公開鍵暗号の例を説明できる。
3. 暗号の基本要素を用い、暗号プロトコルの簡単な拡張を作ることができる。

## AL8 幾何アルゴリズム [選択]

### トピックス

- 凸包
- ボロノイ図
- 線分同士、面と線分、面同士の位置関係の判定

### 学習成果

1. 代表的な凸包計算アルゴリズムに対し、その記述が与えられたとき、その仕組み、正当性、計算量を説明できる。

2. 代表的な計算幾何学のアルゴリズムに対し，適切な文献を参考にしながら，具体例を用いてその仕組みを説明できる。

## AL9 データ分析アルゴリズム [ 選択 ]

### トピックス

#### 学習アルゴリズム

極限における同定，確率近似学習 ( PAC 学習 ) ，質問学習，オンライン学習

#### 主成分分析

様々な統計量の計算法とその利用法

### 学習成果

1. 極限における同定，確率近似学習，質問学習，オンライン学習などの仕組みを具体例を用いて説明できる。
2. 代表的な汎用学習アルゴリズムの概略を説明でき，文献を参考にしながら，その利用例を示すことができる。
3. 代表的な統計量の意味と利用法について説明することができる。

## AL10 並列・分散アルゴリズム [ 選択 ]

### トピックス

#### 並列アルゴリズム

並列計算のモデル，排他制御

#### 分散アルゴリズム

合意形成とリーダー選出，安定性

### 学習成果

1. 代表的な排他制御の方法を示すことができる。
2. 並列計算のモデルに合った並列計算による効率化を提案できる。
3. 分散アルゴリズムにおける代表的な問題とその解決法を説明できる。

# アーキテクチャと構成 (AR)

情報処理の中心にはコンピュータが存在する。コンピュータがなければ、情報処理のほとんどの分野は、数学的理論の一部に過ぎないであろう。今日、情報処理が関係する分野で専門家になろうとする人は、コンピュータを不思議なブラックボックスだと思ってすませることはできない。すべての学生は、計算機システムの機能的要素や、その性質、性能、相互作用などについて、一定の理解と認識を得る必要がある。これには、実用的な意味もある。例えば、現実のマシン上でより効率的に動くプログラムを作るためには、計算機アーキテクチャを理解している必要がある。また、使うシステムを選ばなければならない状況においても、CPUのクロックスピードとメモリ容量の間といった種々の構成要素間のトレードオフを理解していることが必要である。

## AR1 論理回路と論理システム [コア 最低履修時間 6 時間]

### トピックス

計算機アーキテクチャの概要と歴史

基本的構成要素

論理ゲート

フリップフロップ

カウンタ

レジスタ

PLA

論理式、最小化、積和形

レジスタ転送表現

物理的特性

ゲートの遅延

ファンイン

ファンアウト

### 学習成果

1. 基本的構成要素と、それらが計算機アーキテクチャの歴史的発展の中でどのような役割を果たしてきたかを説明できる。
2. 簡単な組合せ論理回路や順序回路の機能を数学的表現で表すことができる。
3. 基本的構成要素を用いて簡単な回路を設計できる。

## AR2 データのマシンレベルでの表現 [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

ビット、バイト、ワード

数値表現と基数 (base)

固定小数点表現と浮動小数点表現

符号付き絶対値表現と2の補数表現

非数値データの表現  
文字コード  
グラフィックデータ  
レコードと配列の表現

## 学習成果

1. 整数や実数を表現するのに異なる形式が必要な理由を説明できる。
2. 負数を、符号付き絶対値表現や2の補数表現で表す方法を説明できる。
3. 数値データのある形式から別の形式に変換できる。
4. 数値の固定長表現が正確さや精度に与える影響について論じることができる。
5. 非数値データの内部表現について説明できる。
6. 文字、文字列、レコード、配列の内部表現について説明できる。

## AR3 アセンブリレベルのマシン構成 [コア 最低履修時間 7 時間]

### トピックス

フォンノイマン計算機の基本構成  
制御ユニット  
命令フェッチ  
デコード  
実行  
命令セットと命令の種類  
データ操作命令  
制御命令  
入出力命令  
アセンブリプログラミング、機械語プログラミング  
命令フォーマット  
アドレッシングモード  
サブルーチンのコールとリターンのメカニズム  
入出力と割り込み

## 学習成果

1. 古典的なフォンノイマン計算機の構成と主要な機能ユニットについて説明できる。
2. 古典的なフォンノイマン計算機で命令がどのように実行されるかを説明できる。
3. 命令が、2進のマシンレベルとアセンブリ言語の記号レベルで、どのように表現されるか要点を説明できる。
4. 命令に含まれるアドレスの個数、可変長命令と固定長命令など、様々な命令フォーマットについて説明できる。
5. アセンブリ言語によって簡単なプログラムを書くことができる。
6. 高水準言語の基本要素が機械語のレベルでどのように実現されるか説明できる。
7. サブルーチンコールがアセンブリ言語のレベルでどのように取り扱われるかを説明できる。
8. 割り込みや入出力の基本概念を説明できる。



## AR4 メモリシステムの構成とアーキテクチャ [コア 最低履修時間 5 時間]

### トピックス

記憶システムとこれに関連する技術

記憶階層

主記憶の構成と操作

レイテンシ，サイクルタイム，バンド幅，インターリーブ

キャッシュメモリ

アドレス割当て

ブロックサイズ

置換えと書込みに関するポリシー

マルチレベルキャッシュ

仮想記憶

ページテーブル

TLB

障害処理と信頼性

### 学習成果

1. 主要なメモリ技術について説明できる。
2. メモリのレイテンシがプログラムの実行時間に及ぼす影響について説明できる。
3. メモリの実効レイテンシを減少させるための記憶階層の利用について説明できる。
4. メモリ管理の原理について説明できる。
5. キャッシュや仮想記憶の役割について説明できる。
6. 仮想記憶の機構をもつシステムの動作について説明できる。

## AR5 インタフェースと通信 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

入出力の基礎

ハンドシェイク

バッファリング

プログラム入出力

割込みを用いた入出力

割込みの構造

割込みベクトル

優先順位

割込みに対する応答

外部記憶，物理的構成，ドライブ

バス

バスプロトコル

排他制御

ダイレクトメモリアクセス (DMA)

ネットワークの入門的説明  
マルチメディアのサポート  
RAID アーキテクチャ

## 学習成果

1. 入出力の制御やデータの転送に割込みがどのように使われるか説明できる。
2. コンピュータの中で使われている様々なバスについて説明できる。
3. 磁気ディスク装置からのデータアクセスについて説明できる。
4. よく使われるネットワークの構成について比較し，論じることができる。
5. マルチメディアのサポートに必要なインタフェースについて説明できる。
6. RAID アーキテクチャの利点と限界について説明できる。

## AR6 機能的構成 [コア 最低履修時間 7 時間]

### トピックス

簡単なデータパスの構成  
制御ユニット  
    ワイヤードロジックによる実現  
    マイクロプログラムによる実現  
命令のパイプライン化  
命令レベル並列性 ( ILP ) の概説

## 学習成果

1. データパスの複数の構成について比較し論じることができる。
2. 各構成要素に必要な制御，ワイヤードロジックやマイクロプログラムによる制御信号の生成について論じることができる。
3. パイプラインによる基本的な命令レベル並列性と，起こりうるハザードについて説明できる。

## AR7 並列処理と様々なアーキテクチャ [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

SIMD , MIMD , VLIW , EPIC の紹介  
シストリックアーキテクチャ  
マルチコア  
相互結合ネットワーク  
    ハイパーキューブ  
    シャッフル  
    メッシュ  
    クロスバ  
共有メモリシステム

## キャッシュコヒーレンス メモリモデルと一貫性

### 学習成果

1. 並列処理の概念について論じることができる。
2. SIMD, MIMD, VLIW など様々なアーキテクチャについて説明できる。
3. 相互結合ネットワークの概念と種々の方法の特徴について説明できる。
4. メモリ管理に関して並列処理システムが内包する問題点と対策について論じることができる。

## AR8 性能の向上 [選択]

### トピックス

スーパースカラーアーキテクチャ  
分岐予測  
プリフェッチ  
投機的実行  
マルチスレッディング  
スケーラビリティ

### 学習成果

1. スーパースカラーアーキテクチャとその長所について説明できる。
2. 分岐予測とその有効性について説明できる。
3. プリフェッチのコストと有効性について説明できる。
4. 投機的実行について説明し、正しい実行を保証するための条件について論じることができる。
5. マルチスレッディングが提供する性能的優位性について、アーキテクチャの観点から論じることができる。また、理想的な性能向上を困難にする要因について論じることができる。
6. スケーラビリティと性能の関係を説明できる。

## AR9 ネットワークと分散システムのためのアーキテクチャ [選択]

### トピックス

LAN と WAN の紹介  
階層的プロトコル設計, ISO/OSI, IEEE 802  
分散アルゴリズムにおけるアーキテクチャ的要素の影響  
ネットワークコンピューティング  
分散マルチメディア

### 学習成果

1. ネットワークの基本要素について説明し、LAN と WAN の違いを明確に説明できる。

2. 階層的ネットワークプロトコルの設計に関係するアーキテクチャ的要素について論じることができる。
3. ネットワークシステムや分散システムでは，アーキテクチャがどのように変わってくるかを説明できる。
4. ネットワークコンピューティングや分散マルチメディアに関連したアーキテクチャ上の諸問題について論じることができる。

# オペレーティングシステム ( OS )

オペレーティングシステムは、コンピュータのハードウェアを直接操作する最も基本的なソフトウェアであり、コンピュータ資源を管理し、それらが効率的に利用できるようにするとともに、コンピュータ資源をコンピュータ利用者あるいは他のソフトウェアにとって使いやすいものにする。そのため、オペレーティングシステム概念と機構を理解するには、外部からの利用と内部の機構の両方を学ぶ必要がある。オペレーティングシステムに関わるアイデアの多くは、並行プログラミングなど、コンピュータ科学の分野全般にわたって適用できるものである。内部設計を学ぶことは、アルゴリズムの設計と実現、最新のデバイス開発、仮想環境の構築、ウェブプログラミング、セキュアで安全なシステムの構築、ネットワーク管理など広範な分野に関係する。

## OS1 オペレーティングシステムの概要 [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

コンピュータのソフトウェア階層とオペレーティングシステムの位置づけ  
オペレーティングシステムの機能  
仮想化，抽象化，資源管理  
オペレーティングシステムの設計上の問題  
効率性，信頼性，セキュリティ，適応性，拡張性，可搬性，互換性  
オペレーティングシステムの歴史  
コンピュータの処理形態とオペレーティングシステム  
バッチ処理，タイムシェアリングシステム  
パーソナルコンピューティング  
リアルタイムシステム  
並列・分散処理

### 学習成果

1. オペレーティングシステムの基本的な機能を説明できる。
2. オペレーティングシステムによるコンピュータシステムの仮想化について説明できる。
3. 初歩的なバッチシステムから複雑なマルチユーザシステムに至るまで、オペレーティングシステムがどのように発展してきたかを述べることができる。
4. オペレーティングシステムの設計に伴うトレードオフを分析することができる。

## OS2 利用者から見たオペレーティングシステム [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

コマンドラインインタフェースとグラフィカルユーザインタフェース  
アプリケーションプログラムインタフェース ( API ) の概念  
システムコール，ライブラリ  
プログラムの実行管理  
言語翻訳システム，リンカ，ローダ

## 学習成果

1. API の概念を説明し，その具体的な実例を示すことができる。
2. システムコールの機構について説明できる。
3. 計算資源が，アプリケーションソフトウェアによっていかに利用され，システムソフトウェアによっていかに管理されているか述べることができる。
4. 言語翻訳システム，リンカ，ローダの役割について説明できる。

## OS3 オペレーティングシステムの原理 [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

割込みの処理  
ユーザモードとカーネルモードの概念  
システムコールの実現機構  
基本的な入出力  
オペレーティングシステムの基本構成  
階層的な抽象層，典型的な機能モジュール

## 学習成果

1. オペレーティングシステムが割込みをどのように利用しているかを述べ，割込み発生時にオペレーティングシステムが行う処理について，割込みの種類ごとに具体的に説明することができる。
2. コンピュータシステムのカーネルモードとユーザモードを比較対照することができる。
3. オペレーティングシステムの構成において，階層的に抽象層を構築することの利点を説明できる。

## OS4 プロセスの構造とスケジューリング [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

プロセスの概念  
ディスパッチとコンテキストスイッチ  
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  
スレッドの概念と機構  
プリエンティブおよびノンプリエンティブスケジューリング  
スケジューラとスケジューリングポリシー  
到着順，処理時間順，ラウンドロビン，固定優先度，可変優先度

## 学習成果

1. マルチタスクの必要性とプロセスの概念について説明できる。

2. ディスパッチングとコンテキストスイッチングの機構を説明できる。
3. プロセスがとりうる状態と複数のプロセスの管理に必要なデータ構造について説明できる。
4. スレッドの利点とその基本的な実現機構を説明できる。
5. プリエンプションの必要性について論じることができる。
6. プロセススケジューリングの主なポリシーを説明し，互いに比較対照することができる。

## OS5 並行性 [コア 最低履修時間 4 時間]

### トピックス

相互排除と条件同期

同期基本命令

割込み禁止，ロック，セマフォ，モニタ，条件変数

プロセス間通信

共有メモリに基づく方法

メッセージパッシング

典型的な同期問題

生産者消費者問題，リーダーライター問題

デッドロックの要因，条件，回避

### 学習成果

1. 多くの独立したプロセスの並行動作によって生じる実行時の潜在的な問題を示すことができる。
2. オペレーティングシステムにおける相互排除の必要性和，そのための同期基本命令について説明できる。
3. オペレーティングシステムにおける条件同期の必要性和，そのための同期基本命令について説明できる。
4. プロセス間通信として，共有メモリに基づく方法とメッセージパッシングについて，それぞれの基本的な機構を例示し，利点・欠点を述べることができる。
5. デッドロック状態が発生する条件とその防止および回避のための手法を説明できる。

## OS6 メモリ管理 [コア 最低履修時間 4 時間]

### トピックス

コンピュータのメモリ階層

物理メモリの管理

オーバーレイ，スワッピング

仮想メモリの機構

ページングとセグメンテーション

ページフェッチとページ配置のポリシー

プリページング，デマンドページング

ページ置換えのポリシー

FIFO，LRU およびその近似方式

## スラッシング ワーキングセットに基づくページ置換え

### 学習成果

1. コンピュータのメモリ階層とそのコストと性能のトレードオフについて説明できる。
2. 仮想メモリ概念とその利点について説明できる。
3. 仮想メモリがページングおよびセグメンテーションによりどのように実現されているか説明できる。また、それらの技術を比較対照することができる。
4. プリページングとデマンドページングの利点と欠点を論じることができる。
5. ページ置換えの主なポリシーについて説明し、互いに比較対照することができる。
6. スラッシングの概念について、それが発生する理由と、その問題を認識し制御するのに用いられる技術を論じることができる。

## OS7 入出力デバイス管理と入出力 [選択]

### トピックス

入出力デバイスの特性

入出力方式

DMA とプログラム入出力

メモリマップト入出力と分離入出力

バッファリング方式

デバイスドライバとその機能

入出力デバイスの仮想化，周辺機器の自動接続，障害からの回復

### 学習成果

1. 主な入出力方式について述べ、それらの利用が適するデバイスや利用環境について論じることができる。
2. バッファリングについて説明し、その実現方式を述べることができる。
3. 考えられるデバイスに対して簡単なデバイスドライバの概要を示すことができる。

## OS8 ファイルシステム [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

ディスク装置の特性，ディスクスケジューリング

データのキャッシング

ファイルの構造，アクセス法

ディレクトリの構造，ネーミングと探索法

ファイルシステムとディスク領域の管理

ディスク装置以外の 2 次記憶の特性とファイルシステムの設計

ファイルシステムの実例



## 学習成果

1. ディスク装置の構成およびアクセス手順を説明できる。
2. 実際のファイルシステムにおいて、ファイルアクセスの性能、2次記憶領域の利用効率などに対してどのような工夫が行われているか、その概要を述べるができる。
3. ハードウェアの発展によって、ファイルシステムの設計と管理に関する優先事項がどのように変化してきたかを要約することができる。

## OS9 認証とアクセス制御 [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

保護とセキュリティの概要  
機密性，完全性，可用性  
ユーザ認証  
パスワード  
アクセス制御  
アクセス制御リスト  
ケイパビリティリスト  
リング保護  
メモリ保護

### 学習成果

1. 保護とセキュリティの必要性，コンピュータ利用における倫理の役割について主張することができる。
2. 機密性，完全性，可用性の三つの概念について説明できる。
3. 保護とセキュリティを実現するためのオペレーティングシステムの機能と限界について要約することができる。
4. アクセス制御の基本的な方式について説明できる。

## OS10 セキュリティと高信頼化 [選択]

### トピックス

セキュアオペレーティングシステムとその機能  
強制アクセス制御，最小特権  
暗号化とその応用  
オペレーティングシステムの回復管理  
高信頼化ファイルシステム  
ジャーナリング，バックアップ

### 学習成果

1. コンピュータシステムへの侵入の手段とそれらに対するオペレーティングシステムの対策について例示することができる。

2. 強制アクセス制御と最小特権の必要性と，その具体的な実現機構を説明できる。
3. コンピュータシステムに発生し得る障害を挙げ，オペレーティングシステムがそれらに対していかに継続して機能することができるか説明できる。

## OS11 リアルタイムシステムと組み込みシステム [選択]

### トピックス

デッドラインとスケジューリング  
リアルタイムシステムのための同期機構  
リアルタイムシステムのためのメモリおよびファイル管理  
リアルタイムシステムに適した資源管理方式  
リアルタイムオペレーティングシステムとその実例

### 学習成果

1. リアルタイムシステムのためのオペレーティングシステムに求められる要件について述べることができる。
2. リアルタイムシステムのためのスケジューリング，同期機構について説明できる。
3. そのほか，リアルタイムシステムに存在する特有の問題と，これらの問題に対しどのような対応がなされているか要約することができる。

## OS12 並列・分散処理のためのオペレーティングシステムの機能 [選択]

### トピックス

マルチプロセッサの基本構成とオペレーティングシステム  
並列オペレーティングシステム  
ネットワークオペレーティングシステムと分散オペレーティングシステム  
マルチプロセッサのためのスケジューリング  
マルチプロセッサのための同期機構  
マルチプロセッサのためのメモリ管理  
ファイルアクセスおよび入出力の並列化  
マルチプロセッサのためのカーネル構成法  
ネットワーク通信と遠隔手続き呼出し  
分散ファイルシステム  
オペレーティングシステムの分散処理機能

### 学習成果

1. マルチプロセッサのためのスケジューリング，同期機構について説明し，その実現方式を述べることができる。
2. ネットワークを介したプロセス間通信について，その基本的な実現機構を説明できる。
3. 分散処理に存在する特有の問題と，これらの問題に対しどのような対応がなされているか要約することができる。

## OS13 オペレーティングシステム構成法 [選択]

### トピックス

カーネル構成法

モノリシックカーネルとマイクロカーネル

モジュール化，オブジェクト指向

オペレーティングシステムの構成の実例

コンピュータシステムの仮想化の概念，方式，実現機構

### 学習成果

1. カーネルの様々な構成法を実例とともに提示し，それらを互いに比較対照することができる。
2. コンピュータシステムの仮想化の利点を指摘し，様々な方式と実現機構について概要を述べ，それらを互いに比較対照することができる。

## OS14 システム性能評価 [選択]

### トピックス

システムの性能指標と評価の対象

評価モデル

解析的手法，シミュレーション，ベンチマーク，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

### 学習成果

1. システムの性能を計測するのに用いられる性能指標について述べることができる。
2. システムを評価するのに用いられる主要な評価モデルを説明できる。

# ネットワークコンピューティング (NC)

コンピュータおよびネットワーク技術の発達，特にインターネット技術の発達により，コンピュータ分野におけるネットワーク技術の重要性が増した。ネットワークコンピューティングは，コンピュータ通信ネットワークの概念とプロトコル，ウェブ標準と技術，ネットワークセキュリティ，ワイヤレスおよびモバイルコンピューティング，分散処理システムといった専門分野をカバーしている。

このエリア (NC) に精通するためには，理論の習得と実践経験の両方が必要である。学生が概念を理解し，またそれを現実問題へ適用できるようにするために，実験と分析を含む演習を強く推奨する。演習には，データの収集と分析，実験結果からのモデルの抽出，ソースコードレベルでのプロトコル分析，ネットワークパケットの観察，ソフトウェアの構築，および様々な設計モデルの比較評価が考えられる。

## NC1 ネットワークコンピューティング入門 [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

- ネットワーク化とインターネットの背景と歴史
- ネットワークアーキテクチャ
- ネットワークコンピューティング分野の個別テーマの概要
  - ネットワークとプロトコル
  - ネットワーク化されたマルチメディアシステム
  - 分散コンピューティング
  - モバイルおよびワイヤレスコンピューティング

### 学習成果

1. 初期のネットワークとインターネットの発展について説明できる。
2. 電子メールやウェブブラウザといった一般的なネットワークアプリケーションを効果的に使える。
3. 典型的なネットワークアーキテクチャの階層構造を説明できる。
4. ネットワークコンピューティング技術について概要を説明でき，それらの現在の能力，限界，および近い将来の可能性について評価できる。

## NC2 通信とネットワーク接続 [コア 最低履修時間 7 時間]

### トピックス

- ネットワーク標準および標準化団体
- ISO 7 層参照モデルの一般論および TCP/IP におけるその具体例
- 回線交換とパケット交換
- ストリームとデータグラム
- 物理層ネットワーク接続の概念
  - 理論的な基礎
  - 伝送メディア
  - 様々な標準

データリンク層の概念  
フレーミング  
エラー制御  
フロー制御  
様々なプロトコル  
ネットワーク間接続とルーティング  
ルーティングアルゴリズム  
ネットワーク間接続  
輻輳制御  
トランスポート層サービス  
接続確立  
性能の問題

## 学習成果

1. 重要なネットワーク標準について、歴史的背景の中で説明できる。
2. ISO 参照モデルの下位 4 層の役割を説明できる。
3. 回線交換とパケット交換の差異について、各々の長所および短所を含めて説明できる。
4. ネットワークが伝送エラーを検出し訂正する方法について説明できる。
5. パケットがインターネット上でいかに転送されるかを説明できる。
6. 標準的なホスト設定ソフトウェアツールを使用して、二つのクライアントおよび一つのサーバから成る簡単なネットワークを設定できる。

## NC3 ネットワークセキュリティ [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

暗号の基礎  
秘密鍵アルゴリズム  
公開鍵アルゴリズム  
認証プロトコル  
デジタル署名

## 学習成果

1. 公開鍵暗号方式を可能とする原理を説明できる。
2. 公開鍵暗号を利用する際の手順について説明できる。
3. 秘密鍵アルゴリズムと公開鍵アルゴリズムを使い分けられる。
4. 一般的な認証プロトコルについて説明できる。
5. 公開鍵暗号方式のキーペアを生成して配布し、公開鍵暗号方式を使用して暗号化した電子メールメッセージを送れる。
6. 一般に利用可能な暗号化方式の能力と限界について説明できる。

## NC4 クライアントサーバコンピューティングの例としてのウェブ

[ コア 最低履修時間 3 時間 ]

### トピックス

クライアントサーバ関係の特徴  
ウェブ技術  
HTML と URI  
ウェブプロトコル  
サーバ側のプログラム  
コモンゲートウェイインタフェース ( CGI ) プログラム  
クライアントサイドスクリプト  
サーバとクライアントの協調  
アプレットの概念  
ウェブサーバの特性  
アクセス権限の扱い  
ファイル管理  
一般的なサーバアーキテクチャの能力  
ウェブサイト作成およびウェブ管理のためのサポートツール  
インターネット情報サーバの開発例  
情報やアプリケーションの公開例

### 学習成果

1. 複数のアプリケーションプログラムについて、クライアントとサーバの役割を説明できる。
2. 様々なクライアントサーバ連携を効率的に実現するためツール群を選択できる。
3. 簡単な対話型ウェブベースアプリケーション ( 例えば、クライアントから情報を集め、それをサーバ上のファイルに格納するウェブページ ) を設計し、実装できる。

## NC5 分散アプリケーションの構築 [ 選択 ]

### トピックス

ウェブアプリケーションのためのアプリケーション層プロトコル  
ウェブアプリケーション開発技法の基本  
データベース駆動のウェブサイト  
遠隔手続き呼出し ( RPC )  
分散オブジェクト  
分散アプリケーションでの同期と合意  
分散トランザクション  
障害耐性  
ミドルウェアの役割  
支援ツール  
分散アプリケーションにおけるセキュリティの問題  
企業内ウェブベースアプリケーション

## 学習成果

1. 中規模のクライアントサーバ方式の対話型アプリケーションが，様々なウェブ技術を用いてどのように作られるのかを例によって示せる。
2. データベース駆動型ウェブサイトについて，構成する各層に関連する技術，および付随するパフォーマンス・トレードオフを説明しながら，ウェブサイトをどのように実装するかを示すことができる。
3. CORBA や JAVA RMI など，任意の二つの分散オブジェクトフレームワークを使う分散処理システムを実装し，パフォーマンスおよびセキュリティの点からそれらを比較できる。
4. 企業内ウェブベースアプリケーションにおけるセキュリティの問題およびその対策について議論できる。

## NC6 ネットワーク管理 [ 選択 ]

### トピックス

ネットワーク管理上の課題の概要  
ドメインネームとネームサービス  
パスワードおよびアクセス制御機構の使用  
セキュリティとファイアウォール  
インターネットサービスプロバイダ ( ISP ) に関わる管理上の課題  
サービス品質の問題  
性能，障害回復

## 学習成果

1. ドメインネームサービス ( DNS ) を設定することができる。
2. ウイルス，ワーム，トロイの木馬，サービス不能化攻撃といったセキュリティ上の脅威から生じるネットワーク管理の問題を説明できる。
3. ボトルネック帯域やネットワーク遅延を測定することができる

## NC7 ワイヤレスおよびモバイルコンピューティング [ 選択 ]

### トピックス

ワイヤレス標準の歴史，発展，互換性についての概観  
ワイヤレスおよびモバイルコンピューティングに固有な問題  
ワイヤレスローカルエリアネットワークと衛星ネットワーク  
ワイヤレスローカルループ  
モバイルインターネットプロトコル  
移動を意識することによる影響  
モバイルに適応するためのクライアントサーバモデルの拡張  
モバイルデータアクセス  
サーバデータの配布およびクライアントキャッシュの管理

モバイルワイヤレスコンピューティングを支援するソフトウェアパッケージ  
ミドルウェアおよび支援ツールの役割  
性能の問題

### 学習成果

1. モバイル IP の主要な特性を示し，モビリティ管理，位置管理およびパフォーマンスの点で IP との違いを説明できる。
2. 電子メールなどの情報が，モバイル IP では，ホームエージェントと外部エージェントを用いてどのように転送されるかを説明できる。
3. 移動無線データ通信を使った簡単なアプリケーションを実装できる。
4. ワイヤレスあるいはモバイルコンピューティングに関して，注目されているあるいは注目されつつある分野について述べ，それぞれについて，能力，限界，および近い将来の可能性について議論できる。

## NC8 マルチメディア情報の配信システム [ 選択 ]

### トピックス

符号化によるデータサイズと転送量  
配信の制御信号とプロトコル  
マルチキャスト  
通信品質とサービス品質  
    同期，遅延，ジッタ，帯域，損失  
    メディアによる差異  
リアルタイム配信  
オンデマンド配信  
双方向マルチメディア通信

### 学習成果

1. 音声，画像，映像の符号化方式のデータサイズとその転送のための時間条件を説明できる。
2. マルチメディア配信に使われるプロトコルを説明できる。
3. 通信品質とサービス品質の差異，およびそれぞれの品質項目を説明できる。
4. リアルタイム配信，オンデマンド配信，双方向マルチメディア通信の差異と必要条件を説明できる。



# プログラミング言語 ( PL )

プログラミング言語は、プログラマとコンピュータの間の主要なインタフェースである。プログラマは、単に一つの言語によるプログラミングの方法を知っているだけでなく、違った設計理念、プログラミングスタイル、パラダイムに基づく言語が存在することも理解していなければならない。プログラミング言語の多様性や異なるパラダイムの間の設計トレードオフを理解することによって、プログラミングに対する視点が広がると期待される。プログラミング言語の実用的な側面を理解するためには、さらにプログラミング言語の翻訳および実行時機能（記憶域割当てなど）の基礎知識も必要とされる。

## PL1 プログラミング言語の概要 [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

- プログラミング言語の歴史
- プログラミングパラダイムの簡単なまとめ
  - 手続き型言語
  - オブジェクト指向言語
  - 関数型言語
  - 論理型言語
  - 宣言的で非アルゴリズム的な言語
  - スクリプト言語
- プログラミング方法論への規模の影響

### 学習成果

1. プログラミング言語の発展の歴史を要約し、現在使われているパラダイムがどんな歴史的経緯から生まれたかを述べることができる。
2. このユニットがカバーしているプログラミングパラダイムのそれぞれについて、少なくとも一つの特徴を挙げることができる。
3. 異なるパラダイムの間でのトレードオフを評価できる。この際の評価項目には、メモリ効率、時間効率（コンピュータとプログラマの両方について）、安全性、表現力などがある。
4. 小規模プログラミングと大規模プログラミングを区別することができる。

## PL2 仮想計算機 [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

- 仮想計算機のコネ
- 仮想計算機のコ層
- 中間言語
- 他人の計算機でコードを実行することから生じるセキュリティ問題

## 学習成果

1. 仮想計算機において抽象化の重要性と能力を示すことができる。
2. コンパイルプロセスにおける中間言語の利点を説明できる。
3. 性能と可搬性のトレードオフを評価できる。

## PL3 言語翻訳入門 [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

インタプリタとコンパイラの比較

言語翻訳の各フェーズ

字句解析

構文解析

コード生成

最適化

言語翻訳における機械依存な部分と機械独立な部分

### 学習成果

1. コンパイラ方式の実行モデルとインタプリタ方式の実行モデルを比較し、それぞれの長所を述べることができる。
2. ソースコードから実行可能コードまでの言語翻訳の各フェーズ、およびこれらのフェーズで生成されるファイルについて述べるができる。
3. 機械依存翻訳と機械独立翻訳の違いを説明し、翻訳プロセスのどこでこれらの違いが明らかになるかを述べるができる。

## PL4 宣言と型 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

値の集合と操作の集合で規定される型の概念

宣言モデル

結合

可視性

有効範囲

生存期間

型チェックの概要

ごみ集め

### 学習成果

1. 特に大規模プログラミングに関して宣言モデルの価値を説明できる。
2. アドレス、値、有効範囲、持続性、サイズなどの変数の特性を指摘して、説明できる。
3. 型の不一致について論じることができる。

4. 結合，可視性，有効範囲，生存期間のそれぞれについて，いろいろな管理の方法を示すことができる。
5. 抽象化および安全性を提供する際の型および型チェックの重要性について述べることができる。
6. 生存期間管理におけるトレードオフ（参照数カウント対ごみ集め）を評価できる。

## PL5 抽象化メカニズム [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

抽象化メカニズムとしての手続き，関数，反復子  
引数のメカニズム（値渡しと参照渡し）  
起動レコードと記憶管理  
型パラメータおよびパラメータ化された型  
プログラミング言語におけるモジュール

### 学習成果

1. 再利用可能なソフトウェア部品を作る際，いかに抽象化メカニズムが有用であることを説明できる。
2. 引数受渡しの二つの方法，値渡しと参照渡しの違いを述べることができる。
3. 抽象化の重要性を，特に大規模プログラミングに関連して述べることができる。
4. プログラムモジュールとそのデータを管理するために，コンピュータシステムがどのように起動レコードを使用するかを示すことができる。

## PL6 オブジェクト指向言語 [コア 最低履修時間 6 時間]

### トピックス

オブジェクト指向設計  
カプセル化と情報隠蔽  
動作とその実装の分離  
クラスとサブクラス  
継承（オーバーライド，動的ディスパッチ）  
多相性（サブタイプ多相性と継承）  
クラス階層  
コレクションクラスと反復プロトコル  
オブジェクトとメソッドテーブルの内部表現

### 学習成果

1. オブジェクト指向設計の考え方，および，カプセル化，抽象化，継承，多相性などの概念を説明することができる。
2. オブジェクト指向プログラミング言語によって簡単なプログラムを設計，実装，テスト，デバッグすることができる。

3. クラスのメカニズムがカプセル化や情報隠蔽にとって有用である理由について述べることができる。
4. クラスの静的構造とクラスのインスタンスの動的構造との関係を説明できる。

## PL7 関数型言語 [ 選択 ]

### トピックス

関数型言語の概要と目標

リスト，自然数，木を初めとする再帰的に定義されたデータ上の再帰

実際の使用法（分割統治法によるデバッグ，データ構造の持続性）

関数データ構造に関するならし効率

閉包，データとしての関数の使用（無限集合，ストリーム）

### 学習成果

1. 関数型プログラミングパラダイムの長所と短所を要約できる。
2. 関数型パラダイムを使って，プログラムを設計し，コーディング，テスト，デバッグすることができる。
3. データとしての関数の使用法を，閉包の概念も含めて説明できる。

## PL8 論理型言語 [ 選択 ]

### トピックス

論理型言語の概要と目標

論理型言語の計算メカニズム，ユニフィケーション，バックトラック

否定の表現法，カット

差分リスト，DCG

### 学習成果

1. 論理型プログラミングパラダイムの長所と短所を要約できる。
2. 論理型パラダイムを使って，プログラムを設計し，コーディング，テスト，デバッグすることができる。
3. DCG による構文解析の方法を説明できる。

## PL9 スクリプト言語 [ 選択 ]

### トピックス

スクリプト言語の記述と役割

基本システムコマンド，スクリプトの作成，スクリプトの実行

引数受渡し，連想配列

スクリプティングのプログラミングに与える影響

## 学習成果

1. スクリプト言語の典型的な機能を挙げ、それらのプログラミングに対する影響を説明することができる。
2. スクリプト言語と普通のプログラミング言語の得失を説明し、特定の場面でどちらの言語を使えばよいかを決めることができる。

## PL10 言語翻訳システム [選択]

### トピックス

字句解析における正規表現の適用  
構文解析（具象構文，抽象構文，抽象構文木）  
文脈自由文法へのテーブル駆動および再帰下降型構文解析の適用  
記号表の管理  
木の巡回によるコード生成  
アーキテクチャに特化した操作  
    命令選択，レジスタ割当て  
最適化技法  
翻訳プロセスを支援するツールの使用およびその利点  
プログラムライブラリと分離コンパイル  
構文主導型ツールの構築

## 学習成果

1. 言語翻訳プログラムのステップと、それぞれで使用するアルゴリズムを示すことができる。
2. 有限オートマトン，プッシュダウンオートマトンなどの内在する形式モデル，およびそれらが言語定義で使われる正規表現や文法とどう関係しているかを説明できる。
3. 最適化の有効性を論じることができる。
4. 分離コンパイルやプログラムライブラリの存在がコンパイルプロセスにどう影響するかを説明できる。

## PL11 型システム [選択]

### トピックス

値および操作の集合としてのデータ型  
データ型  
    基本型  
    直積型と直和型  
    代数型  
    再帰的な型  
    矢印（関数）型  
    パラメータ付きの型

型チェックモデル  
ユーザ定義型の意味論モデル  
    型の省略  
    抽象データ型  
    型の同等性  
パラメータ多相性  
サブタイプ多相性  
型チェックのアルゴリズム

## 学習成果

1. 型の考え方を形式化できる。
2. 基本データ型のそれぞれについて述べるができる。
3. 抽象データ型の概念を説明できる。
4. 抽象化や安全にとっての型の重要性を説明できる。
5. 型宣言と型推論を区別できる。

## PL12 プログラミング言語の意味論 [ 選択 ]

### トピックス

非形式的な意味論  
形式的意味論の概観  
表示の意味論  
公理の意味論  
操作の意味論

## 学習成果

1. 形式的意味論の重要性を説明できる。
2. 形式的意味論と非形式的意味論を区別できる。
3. 形式的意味論への各種のアプローチについて述べるができる。
4. 形式的意味論への各種のアプローチを評価できる。

## PL13 プログラミング言語の設計 [ 選択 ]

### トピックス

言語設計の一般原則  
設計目標  
型の体系  
データ構造のモデル  
制御構造のモデル  
抽象化メカニズム

## 学習成果

1. 言語設計，言語使用，翻訳プロセスに対する各種の型の体系の影響を評価できる。
2. ユーザ定義機能の作成における様々な抽象化メカニズムの役割を説明できる。

# ヒューマンコンピュータインタラクション (HC)

ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) は人間とコンピュータとの対話を考える学問分野であり、人間の行動の理解からコンピュータのシステムに関する理解まで、非常に幅広い知識を要求される分野である。そのために扱うトピックスも非常に多岐にわたる。幅広い分野の内容を含むために全てを網羅的に扱うことはできないので、HCIを学ぶ上で何に重点を置くかによって、その構成は大きく変わる。ここではHCIをコンピュータ科学の一分野として捉え、ソフトウェアの開発に重点を置いている。そのために開発に関するユニットが数多く配置されている。

## HC1 ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎

[ コア 最低履修時間 6 時間 ]

### トピックス

人間に配慮する理由

HCIの背景

人間中心の開発および評価

人間行動モデル

知覚

動作

認知

人間行動モデル

文化

コミュニケーション

組織

人間の多様性への対応

よい設計とよい設計者の原理、エンジニアリングトレードオフ

ユーザビリティテスト入門

### 学習成果

1. 人間中心のソフトウェア開発を行う理由について論じることができる。
2. 心理的および社会的相互作用の基礎科学を要約できる。
3. 評価において、分析的手法と実験的手法を区別できる。
4. アフォーダンス、概念モデル、フィードバック等の人間とソフトウェアの対話を分析するための概念的語彙を説明できる。
5. 特定のアイコン、記号、単語、または色が、(a) 二つの異なる人間文化や (b) 一つの文化およびその下位文化においてもつ異なった解釈を区別できる。
6. 人間の多様性を考慮するという点から見て、コンピュータシステムまたはアプリケーションの設計はどのように成功または失敗するのかを説明できる。
7. 現存するソフトウェアアプリケーションのための、簡単なユーザビリティテストを作成し、実施できる。



## HC2 簡単なグラフィカル・ユーザインタフェースの構築

[コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

グラフィカル・ユーザインタフェース (GUI) の原理  
GUI ツールキット

### 学習成果

1. 効果的な GUI 設計のためのいくつかの基本原則を説明できる。
2. GUI ツールキットを使用して、GUI を伴った簡単なアプリケーションを作成できる。
3. GUI の構造に対する基本的な設計原則の影響を例証できる。
4. 各インスタンスに対して簡単なユーザビリティテストを行い、結果を比較できる。

## HC3 人間中心のソフトウェア評価 [選択]

### トピックス

評価目標の設定  
ユーザが参加せずに行う評価  
ウォークスルー  
キーストロークレベルモデル (KLM)  
ガイドライン  
標準  
ユーザが参加して行う評価  
ユーザビリティテスト  
インタビュー  
アンケート調査  
実験

### 学習成果

1. 学習、タスク時間と完了度および容認可能性の評価基準について論じることができる。
2. ウォークスルーおよびキーストロークレベルモデル (KLM) 分析を実施できる。
3. 主要なガイドラインおよび標準を要約できる。
4. ユーザビリティテスト、インタビュー、およびアンケート調査を実施できる。
5. ユーザビリティテストと制御環境下における実験とを比較できる。
6. 現存する対話型システムを、人間中心の基準およびユーザビリティテストによって評価できる。

## HC4 人間中心のソフトウェア開発 [選択]

### トピックス

アプローチ, 特性, およびプロセス  
機能性とユーザビリティ  
タスク分析, インタビュー, アンケート調査  
対話と表現の仕様記述  
プロトタイピング技法とツール  
紙を使ったストーリーボード  
継承および動的ディスパッチ  
プロトタイピング言語および GUI ビルダ

### 学習成果

1. 人間中心の開発の基本的な種類および特徴を説明できる。
2. 人間中心の開発を, 伝統的なソフトウェア工学手法と比較し説明できる。
3. 機能要求とユーザビリティ要求を記述できる。
4. 対話型オブジェクトを, 遷移ネットワーク, オブジェクト指向設計, またはシナリオ記述を用いて仕様化できる。
5. 紙の上での開発とソフトウェアプロトタイプによる開発の長所, 欠点について論じることができる。

## HC5 グラフィカル・ユーザインタフェースの設計 [選択]

### トピックス

対話のスタイルおよび対話技法の選択  
共通ウィジェットの HCI 的側面  
画面設計の HCI 的側面  
レイアウト  
色  
フォント  
ラベリング  
ヒューマンエラーの扱い  
単純な画面設計を超えたもの  
視覚化  
表現  
メタファ  
マルチモーダルな対話  
グラフィックス  
音  
触覚  
3次元対話と仮想現実

## 学習成果

1. 一般的な対話スタイルを要約できる。
2. 通常のウィジェット，画面表示の順序，簡単なエラートラップ，ダイアログ，ユーザマニュアルについて，よい設計原理とは何かを説明できる。
3. 人間中心のソフトウェア評価および人間中心のソフトウェア開発の概念知識を使って，簡単な 2 次元 GUI を設計し，プロトタイプを作成し，評価できる。
4. 2 次元から 3 次元対話へと移行する際の課題について論じることができる。

## HC6 グラフィカル・ユーザインタフェースのプログラミング [ 選択 ]

### トピックス

ユーザインタフェース管理システム ( UIMS )  
ウィジェットクラス  
イベント管理とユーザ対話  
ジオメトリ管理  
GUIビルダと UI プログラミング環境  
クロスプラットフォーム設計

## 学習成果

1. UIMS の責任とアプリケーションの責任を区別できる。
2. UI のためのカーネルベースモデルとクライアントサーバモデルを区別できる。
3. UI のイベント駆動型パラダイムと，より伝統的な手続き型制御とを比較できる。
4. ウィジェットの集合体および制約に基づくジオメトリ管理について説明できる。
5. コールバックについて説明し，GUIビルダにおけるその役割を述べることができる。
6. クロスプラットフォームの UI 設計でよくある差異を把握できる。
7. 様々なプラットフォームの UI に見られる共通点を把握できる。

## HC7 マルチメディアシステムの HCI 的側面 [ 選択 ]

### トピックス

情報の分類とアーキテクチャ  
階層  
ハイパーメディア  
情報検索と人間の行動  
ウェブ検索  
データベース問合わせ言語のユーザビリティ  
グラフィックス  
音  
マルチメディア情報システムの HCI 設計  
音声認識と自然言語処理  
情報機器とモバイルコンピューティング

## 学習成果

1. 情報検索がトランザクション処理とどのように異なるのかを論じることができる。
2. 情報の構成がどのように検索を支えているのか，その仕組みを説明できる。
3. データベース問合わせ言語に関する主要なユーザビリティ問題を述べるができる。
4. 音声技術の現状，さらには自然言語処理一般の現状について説明できる。
5. 人間中心のソフトウェア開発やグラフィカル・ユーザインタフェースの設計の概念知識およびここで扱った概念知識を使って，簡単なマルチメディア情報システムを設計し，プロトタイプを作成し，評価できる。

## HC8 協同作業とコミュニケーションの HCI 的側面 [ 選択 ]

### トピックス

専門的タスクを支援するグループウェア

ドキュメント作成

マルチプレーヤゲーム

非同期グループコミュニケーション

電子メール

掲示板

同期グループコミュニケーション

チャットルーム

電子会議

オンラインコミュニティ

MUD

MOO

ソフトウェアキャラクタと知的エージェント

## 学習成果

1. 個別対話における HCI 問題を，グループ対話における問題と比較できる。
2. 協同作業ソフトウェアによって生じる社会的な諸問題について論じることができる。
3. 人間の意図を具体的に表現するソフトウェアにおける HCI 問題について論じることができる。
4. 同期コミュニケーションと非同期コミュニケーションの差異を述べるができる。
5. 人間中心のソフトウェア開発やグラフィカル・ユーザインタフェースの設計の概念知識およびここで扱った概念知識を使って，簡単なグループウェアまたはグループコミュニケーションアプリケーションを設計し，プロトタイプを作成し，評価できる。
6. 対面での対話形式と，仲介ソフトウェア環境を通じたその他の対話形式が混在したチームプロジェクトに参加できる。
7. 対面での協同作業とソフトウェアを仲介した協同作業の間の類似点および相違点を述べるができる。

# マルチメディア表現 ( MR )

記号や文字あるいは図画などを利用したコミュニケーションの方法は有史以来の古い歴史をもつ。音や人の動きなどを利用した文化形成も古くから行われてきた。マルチメディア表現の領域は、それら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。そのためには、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必要がある。

## MR1 情報のデジタル表現 [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

アナログ表現およびデジタル表現  
デジタルデータ, 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

### 学習成果

1. 人間による意味内容の記号化と受け手の解釈や意味理解のレベルと、コミュニケーション機器のための規格による符号化、復号のレベルを区別できる。
2. ビット、バイトなどの情報量について計算できる。
3. 符号化、復号の様々な手法について説明できる。
4. 情報量の補助単位の意味を説明できる。
5. アナログデータをデジタル化するときの品質劣化（標本化、量子化、圧縮による）について説明できる。

## MR2 文字コード [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

文字の字形と符号化および文字コード  
フォントとの関連付け  
文字コードの国際規格

### 学習成果

1. 1 バイトで表現されたコードについて各国やベンダーでの表現の違いを説明できる。
2. 日本語の複数の文字コードの違いを説明できる。
3. 国際的な文字コードの規格について説明できる。
4. 字形と文字コードとの対応付け、および文字コードの符号化の違いについて説明できる。

## MR3 標本化，量子化，圧縮の原理とアルゴリズム [選択]

### トピックス

シャノンの情報理論

標本化定理

画像，音声，映像の標本化と量子化

符号化と復号のアルゴリズム

可逆圧縮と不可逆（劣化）圧縮

データ圧縮のアルゴリズム

コーデック（Codec）とプロファイル

コーデックで用いられる圧縮アルゴリズム

標本化，量子化，圧縮による人間の認識およびメディアの品質

### 学習成果

1. シャノンの情報理論および標本化定理について説明できる。
2. 画像データがどのように2進数のデータに変換されるのかについての過程を説明できる。
3. 解像度や量子化ビット数から，画像，音や映像の圧縮されていないデータのおよそのデータサイズを計算できる。
4. 圧縮がなぜ必要なのか，どのようなアルゴリズムで圧縮されているのか説明できる。
5. 音声，ビデオ，画像，色，およびその他の情報提示概念の適切な使用の見地から，マルチメディアのコーデックを比較し，評価できる。

## MR4 マルチメディア機器 [選択]

### トピックス

入出力機器

容量計画と性能に関する問題

記録メディア

記録，編集，交換，配信用のフォーマット

マルチメディアサーバおよびファイルシステム

マルチメディア開発をサポートするツール

### 学習成果

1. 各マルチメディア機器がどの程度の品質をもっているのか説明できる。
2. マルチメディア機器間および，マルチメディア機器とコンピュータを接続するケーブルについて，それぞれの特性や転送量の違いを説明できる。
3. マルチメディアを記録する媒体について，それぞれの容量や圧縮形式，記録形式の違いを説明できる。
4. マルチメディアの入出力で使われる機器において，各機器の機能や，他の機器との機能の違いを説明できる。

## MR5 オーサリング [選択]

### トピックス

情報の提示方法の分類と論理構造  
オーサリングにおける人間行動のモデル化  
表音文字（音素文字，音節文字），表意文字，表語文字  
言語の文字表記と表記の揺れ  
内容分析と検索手法  
    索引付けと音声，画像，ビデオの検索  
メディアの提示方法に対応したメディアの加工と品質  
マルチメディアシステムでのユーザインタフェース  
情報提示における心理や知覚を考慮したデザイン  
文化や理解を考慮した設計  
多様なメディアの選択と統合化  
グラフィックス的な操作に対するユーザへのフィードバック  
リアルタイム制御におけるメディア対応

### 学習成果

1. 情報を提示するための論理構造を使い分けることができる。
2. 求めたい情報に対して，オーサリングによってどのような検索が行われるか想定することができる。
3. 様々な国の文字表記について，一律的でないことを説明できる。
4. 色や記号，テキスト，および映像などを適切に用いて，効果的にコミュニケーションできるマルチメディア作品を創作できる。
5. 印刷媒体とオンライン媒体に対するデザイン領域における違いを議論できる。
6. マルチメディアにおけるコンテンツ指向の内容分析の利用方法の例を示すことができる。
7. 視聴覚障害をもつ特定の視聴者に対する効果的な情報提示の方法を示すことができる。
8. 効果的な理解やメディアのもつ心理的な効果を説明できる。
9. マルチメディアで表現された制作物の文化的な意味付けを説明できる。
10. マルチメディアを用いたコミュニケーションの効果的な作品と効果的でない作品を区別できる。
11. リアルタイム制御における情報提示について説明できる。

# グラフィックスとビジュアル・コンピューティング (GV)

コンピュータ・グラフィックスは、コンピュータ科学の中で急速に重要な分野になりつつある。コンピュータ・グラフィックスは、人間とコンピュータとの間でのインタフェースのデザインにおいて斬新な可能性を切り開いてきた。このエリアの目的は、それらの進歩を可能にしてきた原理、技術、そして応用を探求することにある。グラフィックスとビジュアル・コンピューティングによって包含される領域は、コンピュータ・グラフィックス (CG)、視覚化、仮想現実 (VR)、コンピュータ・ビジョン (CV) という四つの相互に関連した分野に分けられる。

コンピュータ・グラフィックスは、コンピュータの処理を介して生成され、表現されるような画像を利用した情報コミュニケーションのデザイン技術、およびそれを裏打ちする工学の複合科学であり、その目的は人の視覚的な感覚に対して他の感覚とともに焦点を当て、表現される対象を理解させることにある。視覚化は相互に関連づけられた潜在的な構造や関係を、科学的 (コンピュータ科学や医療科学) および、より抽象的なデータの集合として総合させ、表現する方法を探ることにあり、その主な目的は、データの集合による情報によって、人間の視覚的な能力だけでなく、音や触覚なども含めた他の知覚の手法を用いながら、表現対象の認識を拡張することにある。仮想現実 (VR) は、コンピュータ・グラフィックスと知覚の法則に従って生成された 3 次元空間の環境を、人とコンピュータで生成された世界の間での相互作用を拡張されるために、使用者に経験させることを可能とする。コンピュータ・ビジョン (CV) の目的は、コンピュータの計算の核となる概念および物理、数学、あるいは心理学の原理を利用し、一つあるいは複数の 2 次元画像から、3 次元空間の特徴や構造を推論することにある。

## GV1 グラフィックスにおける基礎技術 [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

グラフィックス・ソフトウェアの階層  
グラフィックス・ライブラリ (API) の仕様  
単純なカラーモデル  
座標系、同次座標と座標変換  
アフィン変換  
投影法と投影変換  
ビューとクリッピング

### 学習成果

1. グラフィックス・ソフトウェアの異なるレベルの能力を区別でき、そしてそれぞれの適切性を評価できる。
2. 標準的なグラフィックス API を用いて画像を生成できる。
3. 標準的な API によって与えられる機能を使って、拡大縮小や回転、あるいは移動などの基本的な座標変換が表現できる。
4. 座標変換やクリッピング操作を単純な 2 次元画像を用いて実行するような簡単な手続きを実装できる。
5. 3 次元座標系、および 2 次元の座標変換演算を 3 次元の座標変換に拡張するために必要な変形について議論できる。



## GV2 グラフィック・システム [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

ラスタおよびベクトル表現と各画像フォーマット  
グラフィックス用のデバイス  
3次元モデル記述フォーマット  
リアルタイム3次元CGシステム  
グラフィックス用のハードウェア, ソフトウェアの進化と対応

### 学習成果

1. 与えられた応用に対してグラフィックス・アーキテクチャの適切性を評価できる。
2. 様々な入力機器の機能を説明できる。
3. ラスタグラフィックスとベクトルグラフィックスの間の技術の違いを比較し, 対比できる。
4. グラフィックスを作り出し表示するための, 現行のハードウェアやソフトウェアを使える。これから現れてくるハードウェアやソフトウェアの拡張された能力に関して議論できる。

## GV3 2次元画像の生成と加工 [選択]

### トピックス

ラスタ画像の生成と描画  
ラスタライズにおける描画アルゴリズム  
アンチ・エイリアシングと擬似階調表示  
画素ごとの濃淡変換と色変換  
空間フィルタリング  
画像の幾何学的変換

### 学習成果

1. ピクセルを基本としたディスプレイ上に線をレンダリングするための代表的なアルゴリズムを説明できる。
2. 単純なグラフィック・システムを用いて個々のピクセルのレベルで, 指定されたいずれかのグラフィックス技術を実現できる。
3. 画像を基礎とした加工技術, および付随する事項について説明できる。
4. 標準的な API を利用して画像を作成することで, これらの技術のそれぞれをデモンストレーションできる。

## GV4 モデリング [選択]

### トピックス

3次元物体の表現方法  
曲線や曲面の表現形式

フォントのモデリング  
空間の細分割技術とボクセル  
手続きモデル  
    フラクタル，メタボール，パーティクル  
変形可能モデル  
デフォーム  
ポリゴン曲面の表現とその変形  
    陰関数表現，メッシュ表現  
再構成

## 学習成果

1. 表面をモザイク細工のように繋ぎ合わせるにより簡単な多面体を作成できる。
2. 立方体や曲面のような単純な図形から，複雑なモデルを構築できる。
3. 陰関数で表現された曲面からメッシュ表現を生成できる。
4. デフォームを使用し，多様な変形により自由形状を生成できる。
5. 手続き的な手法でフラクタルを基本とするモデルや地形を生成できる。
6. レーザーやレーダーによるスキャンによって得られた地点データからメッシュを生成できる。

## GV5 レンダリング [ 選択 ]

### トピックス

画像メモリ  
ワイヤフレームと隠線消去  
隠面消去の手法  
フォトリアリスティック・レンダリング  
ポリゴン面のシェーディングとシャドウイング  
マッピング  
    テキストチャマッピング，ソリッドマッピング  
    環境マッピング，バンプマッピング  
ノン・フォトリアリスティック・レンダリング  
レイ・トレーシング  
大域照明モデル  
複雑な自然現象のレンダリング  
画像を基準としたレンダリングおよびライティング（実写画像との合成）

## 学習成果

1. 画像を基礎としたレンダリング技術，空間光線，および付随する事項について説明できる。
2. あるグラフィックス画像がどのように作られたか評価できる。
3. 標準的な API を利用して画像を作成することで，これらの技術のそれぞれをデモンストレーションできる。
4. いくつかの輸送方程式について，その大まかな効果も含めて概要を説明できる。

5. 大域照明モデルを計算する効率的なアルゴリズムについて評価ができ，正確さとアルゴリズム的実行速度のトレードオフを説明できる。
6. この項に挙げられた技術のそれぞれに関して，その概念と応用を説明でき，実現された技術の評価ができる。
7. 特定の目的をもつ画像を生成するために使用されるグラフィックス技術をどのように認識するか説明できる。

## GV6 コンピュータ・アニメーション [ 選択 ]

### トピックス

キーフレーム・アニメーション  
モーション・キャプチャ  
カメラに特徴的な効果によるアニメーション  
スクリプティング・システム  
手続き的なアニメーション  
キャラクターのアニメーション  
特殊効果  
リアルタイム・アニメーション

### 学習成果

1. キーフレーム・アニメーションの位置および方向を生成するための補間方法を説明できる。
2. モーション・キャプチャのためのいくつかの技術を対比して比較できる。
3. 花火のような単純なアニメーションを生成するために，一般的なアニメーション・ソフトウェアにおいて，パーティクルの機能を使用できる。
4. 一般的なアニメーション・ソフトウェアを使用し，メタボールや骨格構造を使った簡単な有機形状を構築することができる。

## GV7 視覚化 [ 選択 ]

### トピックス

視覚化のための基本ビューおよび質問関数  
データフローとマッピング  
3次元スカラー空間の視覚化  
直接ボリュームレンダリング  
ベクトル場やテンソルおよび流れの視覚化  
情報の可視化  
インフォメーション・グラフィックス

### 学習成果

1. スカラーとベクトルの視覚化の背景にある基本的なアルゴリズムを評価できる。

2. 正確さと実行速度の点からアルゴリズムのトレードオフを評価できる。
3. 視覚化操作の効果を説明するために信号処理や数値解析から適応する理論を使用できる。
4. 開発過程にある視覚的な表現やユーザとの視覚的な対話手法の影響力を評価できる。

## GV8 仮想現実 ( VR ) [ 選択 ]

### トピックス

3次元ディスプレイ  
 ビューワ追跡と視界の計算  
 力のフィードバックのシミュレーションと触覚入出力機器  
 衝突感知  
 リアルタイム・レンダリングと複数の詳細化レベル ( LOD )  
 画像に基づく VR  
 対話的モデリング  
 ユーザインタフェースの問題と協同作業  
 医療, シミュレーション, トレーニングなどへの応用

### 学習成果

1. ステレオスコピックビューによるビューを合成するために実現された光学モデルを評価できる。
2. 異なるビューワ追跡技術の原理を評価できる。
3. 凸多面体用の効率的な衝突感知アルゴリズムの原理を説明できる。
4. 幾何ベースと画像ベースの仮想現実の違いを評価できる。
5. ネットワーク化された環境におけるユーザ・アクションの統合とデータの一貫性の事項について評価できる。
6. 特定の応用のための VR システムのインタフェース, ハードウェア, ソフトウェア構成についての基本的な要求事項を決定できる。

## GV9 コンピュータ・ビジョン [ 選択 ]

### トピックス

画像獲得  
 デジタル画像とその特性  
 画像の前処理  
 スレスホルディング, エッジベース, 領域ベースなどのセグメンテーション  
 形状表現と物体認識  
 モーションの解析と物体追跡

### 学習成果

1. 画像構成処理について説明できる。
2. 二つ以上のカメラや, ステレオ・ビジョンの有用性を説明できる。

3. 多様なセグメンテーションの方法について，それらの特徴，差異，強み，および弱みを伴いながら，説明できる。
4. 輪郭（エッジ）および領域を基本とした形状表現に基づいた物体認識を評価できる。
5. 異なる動きの解析法を説明できる。
6. 物体追跡法における手法の違いを評価できる。

# インテリジェントシステム ( IS )

インテリジェントシステムは、環境を知覚し、定められた作業のために合理的に行動し、他のエージェントおよび人間と相互に作用する。このような人工知能機能は、コンピュータビジョン、プランニングと実行、ロボット工学、マルチエージェントシステム、音声認識、および自然言語認識といったユニットによってカバーされる。これらは、広範囲な一般的あるいは専門的な知識表現と推論機構、問題解決と探索アルゴリズム、および機械学習技術に依存する。さらにインテリジェントシステムは、他の手段では解決が困難または実用的でない問題への解決ツールを提供する。発見的探索、プランニングアルゴリズム、知識表現および推論のための形式化、機械学習技術、音声認識、言語理解、コンピュータビジョン、ロボット工学などの項目について、学生はどんな場合に人工知能アプローチを適用すべきかを決定し、適切な人工知能手法を選択して実現する能力を学ぶ。

## IS1 インテリジェントシステムの基本的問題 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

#### 人工知能の役割と目的

##### 人工知能の歴史

哲学的質問 ( チューリング・テスト, サールの「中国語の部屋」の思考実験 )

##### 最適推論と人間的推論

##### 最適行動と人間的行動

##### 世界のモデル化

##### 発見的知識 ( ヒューリスティックス ) の役割

#### 問題空間と探索

##### 一般探索法の適用

##### 制約充足

##### ゲームプレーヤ

#### 知識表現と推論

##### 導出原理と定理証明

##### 確率的推論

#### 人工知能分野の応用

##### エージェント

##### 自然言語処理

##### 機械学習

##### プランニング

##### ロボット

### 学習成果

1. チューリング・テスト、およびサールの反論 ( 中国語の部屋 ) について述べることができる。
2. 最適推論と人間的推論の概念、および最適行動と人間的行動の概念を区別できる。
3. 発見的知識の役割を述べ、最適性と効率の間のトレードオフの必要性を示すことができる。
4. 状態、操作、初期状態、目標状態を用いて課題を表すことによって、効率的な問題空間を定式化できる。また、課題に対して適切な探索アルゴリズムを選ぶことができる。

5. 知識表現および推論方法について概説できる。
6. 人工知能分野の応用について概説できる。

## IS2 探索および制約充足 [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

- 問題空間
- 力づく探索
  - 幅優先探索
  - 深さ優先探索
  - 反復深化による深さ優先探索
- 最良優先探索
  - 一般的な最良優先探索と発見的評価関数
  - ダイクストラのアルゴリズム
  - A\*アルゴリズム
  - A\*アルゴリズムの最適性保証
- 2 プレーヤゲーム
  - ミニマックス法
    - 枝刈り
- 制約充足 (バックトラック法および局所探索法)

### 学習成果

1. 課題に対して適切な力づく探索アルゴリズムを選び、その時間計算量および領域計算量を調べることができる。
2. 課題に対して適切な探索アルゴリズムと、それに必要な発見的評価関数を述べることができる。
3. どのような条件が成立すれば、発見的探索アルゴリズムによって最適解が得られると保証されるかを述べることができる。
4. 2 プレーヤゲームについて、 - 枝刈りを含んだミニマックス法を説明できる。

## IS3 知識表現および推論 [選択]

### トピックス

- 命題論理および述語論理の復習
- 導出原理と定理証明
- 非単調推論
- 確率的推論
- ベイズの定理

### 学習成果

1. 定理証明のための導出原理の手順を説明できる。

2. 単調推論と非単調推論の違いを説明できる。
3. 確率的推論の長所と短所について論じることができる。
4. ベイズの定理を適用して条件付き確率を求めることができる。

## IS4 高度な探索 [ 選択 ]

### トピックス

遺伝的アルゴリズム  
焼きなまし法 ( simulated annealing )  
局所探索法

### 学習成果

1. 遺伝的アルゴリズムとは何であることを説明し、その有効性を従来の問題解決および探索の技術と対照できる。
2. 焼きなまし法によって探索の複雑さが減少できることを述べ、その手順を従来の探索技術と対照できる。
3. 局所探索法を従来の問題解決および探索に適用できる。

## IS5 高度な知識表現と推論 [ 選択 ]

### トピックス

構造化表現  
    フレームとオブジェクト  
    記述論理  
    継承システム  
非単調推論  
    信念システム機構  
    非古典論理  
    デフォルト推論  
行為および変化に関する推論  
    状況計算  
    事象計算  
時制推論と空間推論  
不確実性  
    確率的推論  
    ベイズネット  
    ファジィ集合および可能性理論  
    決定理論  
対話のための知識表現，定性表現



## 学習成果

1. 知識の構造化表現に使用される最も一般的なモデルを，長所と短所を強調しつつ，比較対照できる。
2. 非単調推論の構成要素を挙げ，信念システムのための表現機構としての非単調推論の有用性を述べるができる。
3. 行為と変化の問題に状況計算や事象計算を適用できる。
4. 時制推論と空間推論の区別を述べ，どのように相互に関係しているかを説明できる。
5. 不確実性を表現するための各種基本技術を述べ，対照できる。
6. 対話と定性表現のための各種基本技術を説明し，対照できる。

## IS6 エージェント [選択]

### トピックス

エージェントの役割と機能

エージェントアーキテクチャ

簡単な即応エージェント

即応プランナ

多層アーキテクチャ

アーキテクチャの例と応用

エージェント理論

コミットメント

意図

決定理論的エージェント

マルコフ決定過程 (MDP)

ソフトウェアエージェント，個人支援，情報アクセス

協調エージェント

情報収集エージェント

信念をもつことのできるエージェント (合成特徴，エージェントにおける感情のモデル化)

学習エージェント

マルチエージェントシステム

ロボットエージェント

モバイルエージェント

## 学習成果

1. エージェントは他の種類のインテリジェントシステムとどのように異なるかを説明できる。
2. 標準的なエージェントアーキテクチャを調べ，対照できる。
3. ソフトウェアエージェント，個人支援，信念をもつことのできるエージェントなどの問題領域に対するエージェント理論の応用を述べるができる。
4. 学習機能を有するエージェントと有さないエージェントの違いを述べるができる。
5. マルチエージェントシステムがエージェント間のやりとりをどのように支援するかについて例示できる。

## IS7 自然言語処理 [ 選択 ]

### トピックス

決定的文法と確率的文法  
構文解析アルゴリズム  
コーパスに基づく手法  
情報検索  
言語翻訳  
音声認識

### 学習成果

1. 決定的文法および確率的文法の定義を述べ、それらを対照できる。
2. 自然言語を構文解析するためのアルゴリズムを述べることができる。
3. 確立したコーパスの利用の必要性を説明できる。
4. コーパスに基づくアプローチにおける格納手続きや探索手続きの例を示すことができる。
5. 情報検索，言語翻訳，および音声認識の技術の違いを説明できる。

## IS8 機械学習とニューラルネット [ 選択 ]

### トピックス

機械学習の役割と機能  
教師あり学習  
決定木  
サポートベクトルマシン ( SVM )  
ニューラルネット学習  
信念ネットワーク学習  
最近傍アルゴリズム  
学習理論  
PAC 学習  
例による学習  
過学習問題  
教師なし学習  
強化学習  
Q 学習

### 学習成果

1. 次の三つの主要学習方式の違いを説明できる：教師あり学習，強化学習，教師なし学習。
2. 問題領域に対して，三つの学習スタイルのうちのいずれが適しているかを正しく選択できる。
3. 決定木，ニューラルネット，信念ネットワークのためのアルゴリズムを説明できる。
4. 学習理論における最近傍アルゴリズムとその位置づけを説明できる。
5. 過学習問題を検出・制御するための技術を説明できる。

## IS9 プラニングシステム [選択]

### トピックス

プラニングシステムの役割と機能  
探索としてのプラニング  
操作に基づくプラニング  
命題プラニング  
プラニングシステムの拡張  
事例によるプラニング  
学習によるプラニング  
確率的プラニング  
静的世界プラニングシステム  
プラニングと動的実行  
プラニングとロボット工学

### 学習成果

1. プラニングシステム概念を述べるができる。
2. プラニングシステムが従来の探索技法とどのように異なるかを説明できる。
3. 探索としてのプラニング，操作に基づくプラニング，および命題プラニングの違いについて，それぞれ説明できる。
4. 事例に基づくプラニング，学習プラニング，および確率的プラニングの各技術について，定義を述べ例を示すことができる。
5. 静的世界プラニングシステムと動的実行を必要とするシステムを比較対照できる。
6. ロボット工学における動的プラニングの効果を説明できる。

## IS10 ロボット工学 [選択]

### トピックス

ロボット工学の概要  
ロボットシステム  
プラニングと即応制御  
制御における不確実性  
センサ感知  
世界モデル  
構成空間  
ロボットプログラミング  
ナビゲーションおよび制御

### 学習成果

1. ロボットシステムの将来性および限界を概観できる。
2. 2次元ロボットおよび複雑な多角形のための構成空間アルゴリズムを説明できる。

3. 運動のプランニングアルゴリズムを説明できる。
4. センサに関連する不確実性とその不確実性に対処する方法を説明できる。
5. 未知の環境下における様々なナビゲーション戦略を述べ、それぞれの長所と短所を説明できる。
6. 目印を用いる様々なナビゲーション戦略を述べ、それぞれの長所と短所を説明できる。

# 情報管理（IM）

情報管理（IM）は、コンピュータが使われるほとんどすべての分野で重要な役割を果たしている。情報のモデリングと操作，記憶情報の効率的で効果的なアクセス技術，特に更新アルゴリズム，データベースの物理設計などの技術が代表的である。ここではまた，共用環境における情報安全性，機密性，整合性も含む。このエリアを学ぶことによって，データベースの設計ができ，どのような情報管理技術をどの場面で適用するのが最も適しているかを判断できるようになる。

## IM1 情報モデルとシステム [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

情報の役割と機能  
情報システムの歴史および動機づけ  
情報格納と情報検索  
情報管理の応用  
情報の獲得と表現  
分析と索引付け  
探索，検索，関連付け，ナビゲーション  
情報機密性，整合性，安全性，保持  
拡張性，効率，有効性

### 学習成果

1. 情報というものをデータや知識と比較対照することができる。
2. 情報システムの初期のビジョンから近年の製品までの発展について，それぞれの能力，および将来の可能性を要約できる。
3. 情報機密性，整合性，安全性，および保持に関連した問題に対する様々な技術を要約できる。
4. 効率性（処理能力，応答時間）および有効性（再現率，適合率）の測定基準を説明できる。
5. 情報システムが個人用から汎用的なものにまで段階的に進むことを保証するアプローチを述べることができる。

## IM2 データベースシステム [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

データベースシステムの歴史およびその動機づけ  
データベースシステムの構成要素と機能  
データベースアーキテクチャとデータ独立  
データベース問合わせ言語の利用

### 学習成果

1. データベースアプローチを，データファイルを用いたプログラミングという伝統的なアプローチと区別する特徴を説明できる。

2. データベースシステムの基本的目標，機能，モデル，構成要素，応用，および社会的影響について例を挙げて述べることができる。
3. データベースシステムの構成要素を示し，それぞれの役割と機能を述べるができる。
4. データベースシステムにおいてデータ独立の概念およびその重要性を説明できる。
5. データベース問合わせ言語を利用することの目的と重要性を説明できる。

## IM3 データモデリング [コア 最低履修時間 4 時間]

### トピックス

#### データモデリング

概念モデル

物理モデル

外部モデル

#### 概念モデル

実体関連モデル

UML (統一モデリング言語)

#### オブジェクト指向モデル

オブジェクト，クラス，型

オブジェクト同一性，型構成子

カプセル化，継承，多相性

バージョン管理

#### 関係データモデル

関係と関係スキーマ

属性と領域

キーと外部キー

整合性制約

### 学習成果

1. データベースの構造を記述するために提供されている基本概念を用いて，データモデルを，概念データモデル，物理データモデル，外部データモデルに分類できる。
2. 実体関連モデルと UML のモデリング概念および表記法を示し，データモデリングにおけるそれらの使用法を述べるができる。
3. オブジェクト指向モデルの主要な概念を示すことができる。
4. 関係データモデルのモデリング概念および表記法を説明できる。

## IM4 関係データベース [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

概念スキーマの関係スキーマへの変換

実体整合性制約，参照整合性制約，キー制約，外部キー制約

関係代数

集合論に基づく操作（和，積，差，直積）  
関係代数特有の操作（選択，射影，結合，商）  
関係論理

## 学習成果

1. 実体関連モデルを用いた概念モデル記述から関係スキーマへ変換できる。
2. 実体整合性制約，参照整合性制約，キー制約（外部キー制約を含む）の概念を説明し，例示できる。
3. 集合論に基づく操作および関係データベース特有の操作の利用方法を例示できる。
4. 関係代数による問い合わせを例示できる。
5. 関係代数と関係論理の関連を述べることができる。

## IM5 データベース問い合わせ言語 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

データベース問い合わせ言語の概要  
SQL（データ定義，問い合わせ記述，更新言語，制約，整合性）  
非手続き的問い合わせの手続き型言語への埋込み

## 学習成果

1. SQL を用いて，キー制約，実体整合性制約，参照整合性制約を含む関係データベーススキーマを作成できる。
2. SQL におけるデータ定義を例示し，SQL を用いてデータベースから情報を検索できる。
3. 非手続き的問い合わせを C++ や Java のような手続き型言語に埋め込むことができる。

## IM6 関係データベース設計とデータ操作 [選択]

### トピックス

データベース設計  
関数従属性  
正規形  
第 1 正規形，第 2 正規形，第 3 正規形，ボイスコッド正規形  
正規化と逆正規化  
多値従属性  
第 4 正規形  
結合従属性  
射影結合正規形，第 5 正規形  
表現理論  
問い合わせ処理の最適化  
テンプレート型言語  
オブジェクト問い合わせ言語

## 学習成果

1. 関係スキーマの部分集合である二つ以上の属性間の関数従属性を決定できる。
2. 第1正規形，第2正規形，第3正規形およびボイスコッド正規形の役割と整合性を保持する働きを述べ，さらに処理効率への正規化の影響を説明できる。
3. 関係が第1正規形，第2正規形，第3正規形あるいはボイスコッド正規形かどうかを特定できる。また，第1正規形の関係を第3正規形（あるいは，ボイスコッド正規形）に正規化でき，逆に非正規化できる。
4. 多値従属性の役割とそれがどのような種類の制約を意味するかを述べ，第4正規形の意義を説明できる。
5. いくつかの問い合わせ処理方法を比較評価して，最適の方法を選択できる。

## IM7 トランザクション処理 [選択]

### トピックス

- トランザクション
  - トランザクション開始
    - (明示的，暗黙的)コミット
  - チェックポイント
  - ロールバック
- 障害と回復
  - ログ
  - 前向き回復
  - 後向き回復
- 同時実行制御
  - ACID 特性
  - 直列化可能性
  - スケジューラ

## 学習成果

1. SQL を用いたトランザクション構築を述べることができる。
2. コミットとロールバックの概念を説明できる。
3. トランザクション実行に特有な機能，特に ACID 特性について述べることができる。
4. ロールバックの必要性和ログの働きを説明できる。
5. 同時実行制御機構において直列化可能性の効果を説明できる。

## IM8 分散データベース [選択]

### トピックス

- 分散データ格納
  - 断片化



(部分, 完全)複製  
割当て  
分散問合わせ処理  
分散トランザクションモデル  
2相コミットプロトコル  
同時実行制御  
複製方式  
投票方式  
同種解および異種解  
クライアントサーバ

## 学習成果

1. 分散データベース設計のプロセスにおいて, データ断片化, 複製, および割当てに利用される技術を説明できる。
2. 分散問合わせを実行するための手法を評価し, データ転送量を最小限にするものを選ぶことができる。
3. 複数のノードに格納されたデータベースをアクセスするトランザクション完了において, 2相コミットプロトコルがどのように使用されるかを説明できる。
4. 複製方式や投票方式に基づく同時実行制御を述べることができる。

## IM9 データベースの物理設計 [選択]

### トピックス

記憶域, レコード型, ファイル構造  
索引ファイル  
1次索引と2次索引  
クラスタ索引  
ハッシュファイル  
内部ハッシュと外部ハッシュ  
動的ハッシュ  
シグニチャファイル  
B木  
稠密索引ファイル  
可変長レコードのファイル  
データベースの効率とチューニング

## 学習成果

1. レコード, レコード型およびファイルの概念, ならびにファイルレコードをディスク上に配置するための技術を説明できる。
2. 1次索引, 2次索引およびクラスタ索引の適用例を示すことができる。
3. 非稠密索引と稠密索引の区別を明らかにすることができる。
4. B木を利用した動的多段階索引を実現できる。

5. 内部および外部ハッシュ技術を説明できる。また，動的ハッシュ技術の必要性を説明できる。
6. データベースの物理設計がデータベーストランザクションの効率にどれほど影響を及ぼすかを説明できる。

## IM10 データマイニング [選択]

### トピックス

データマイニングの有用性  
 同時パターンおよび順次パターン  
 データクラスタリング  
 マーケットバスケット分析と APRIORI  
 データクリーニング  
     雑音，冗長性，例外値  
 データ可視化  
 データマイニングシステム

### 学習成果

1. データマイニングに関する様々な概念を比較し，対照できる。
2. 同時関係規則の発見によって得られる様々なパターンの特性を示すことができる。
3. 同時関係規則を得るため，関係システムをどのように拡張すべきかを述べるができる。
4. データマイニングに共通した方法論を説明できる。
5. 提示されたデータに内在する，雑音，冗長性，例外値の根源を特定し特徴づけることができる。
6. 繰返し防止機構（オンライン分析，ストリームに対する振る舞い，対話型可視化）によるデータマイニングプロセスの改善を述べるができる。

## IM11 情報格納と情報検索 [選択]

### トピックス

文字，文字列，符号化，テキスト  
 文書，電子出版，マーク付け，マーク付け言語  
 トライ，転置ファイル，PAT 木，シグニチャファイル，索引付け  
 形態素解析，語幹抽出，句，停止語リスト  
 用語度数分布，不確実性，曖昧さ，重み付け  
 ベクトル空間，確率モデル，論理モデル，高度なモデル  
 情報ニーズ，適合性，評価，有効性  
 類義語（シソーラス），オントロジ，分類と類別化，メタデータ  
 書誌情報，書誌メトリックス，引用  
 ルーティングおよび（コミュニティ）フィルタリング  
 探索および探索戦略，情報追跡行動，ユーザモデリング，フィードバック  
 情報要約と可視化  
 引用，キーワード，分類手法，およびその他の用語の統合

プロトコルおよびシステム  
Z39.50, OPAC, WWW エンジン

学習成果

1. 情報格納および情報検索の基本概念を説明できる。
2. 効率のよい情報検索に特有な問題は何であることを述べることができる。
3. 各種探索方法の応用例を示し, その適用法が当該应用到に相当である理由を説明できる。
4. インターネットに基づく調査を行うことができる。

IM12 ハイパーテキストとハイパーメディア [ 選択 ]

トピックス

ハイパーテキストモデル

初期の歴史, ウェブ, XML

半構造データ

ノード, 複合, アンカー, リンク機能, 提示, 変形, 同期  
ブラウジング, ナビゲーション, ビュー, ズーミング

XPath, XQuery

ハイパーテキストシステム

検索エンジン (分散) ハイパーテキストアーキテクチャ  
オーサリング, 読み込み, アノテーション

プロトコルおよびシステム

WEB, HTTP

学習成果

1. 初期のバージョンから現在の製品に至る, ハイパーテキストおよびハイパーメディアモデルの発展を要約し, それぞれの能力および限界を明らかにすることができる。
2. ハイパーテキストおよびハイパーメディアの基本概念を説明できる。
3. 情報提示, 変形, および同期の基本概念を説明できる。
4. 使用されるプロトコルおよびシステムに基づいて, ハイパーメディア配信を比較し, 対照できる。
5. オーサリングツールによるウェブ化が可能な情報検索システムを述べることができる。

IM13 マルチメディアデータベース [ 選択 ]

トピックス

電子図書館

デジタル化, 格納, 交換

デジタルオブジェクト, 複合物, パッケージ

メタデータ, カタログ化, 著者送信

名前付け, 保管庫, アーカイブ

## 空間情報

概念情報，地図情報，2次元 / 3次元，VR（仮想現実）

システムアーキテクチャ，相互運用性

エージェント，バス，ラッパー / メディエータ

サービス

検索，連結，ブラウジング

知的財産権の管理，機密性，保護（透かし挿入）

集積化と保持，整合性

マルチメディアデータベース

ストリーム / 構造，内容分析，索引付け，音声・画像・ビデオの検索，メディア同期化

マルチモーダル統合 / インタフェース

## 学習成果

1. 電子図書館の構築の基礎となる技術的概念を説明できる。
2. マルチメディアデータベースの検索，連結，およびブラウジングのために必要な基本的サービス要件を述べることができる。
3. 電子図書館の適切および不適切な利用によって引き起こされるシナリオを批判し，各シナリオの社会的，法的および経済的な結果を予測できる。
4. 電子図書館の情報の集積化および保持に関連した問題と解答を示すことができる。
5. マルチメディアデータベースの概念を説明でき，内容分析の利用，音声，ビデオ，画像，色情報の検索や提示方法を説明できる。

# 社会的視点と情報倫理（SP）

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、また哲学的な広い視野を得られるようにすることが重要である。

この知識分野を扱うには、それを専門とする科目を一つ構築するとともに、個別の科目、例えばデータベースやソフトウェア工学などの科目の中で、関連する社会的な問題を取り上げることが望ましい。

## SP1 コンピュータの歴史 [コア 最低履修時間 1 時間]

### トピックス

先史（パスカル、ライプニッツ、バベッジなど）  
コンピュータのハードウェア、ソフトウェア、ネットワーク化の歴史  
コンピュータ科学のパイオニア達

### 学習成果

1. コンピュータ科学のパイオニア数名を挙げ、その果たした役割を説明できる。
2. パーソナルコンピュータとインターネットが生活や社会に与えた影響について議論できる。
3. コンピュータの歴史において何が継続し何が大きく変わってきたか把握し議論できる。

## SP2 社会におけるコンピュータ [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

コンピュータの社会的意味  
ネットワーク・コミュニケーションの社会的意味  
インターネットの成長と制御可能性  
インターネットへのアクセス権  
ジェンダー（性差）に関連する問題  
情報格差

### 学習成果

1. 社会の中で実際に利用されている情報システムの例を挙げ、それが社会で果たしている役割を説明できる。
2. 情報格差と呼ばれているような状況の実態について認識し評価できる。
3. コンピュータが人と人との間の対話を促進する場合と阻害する場合について論じることができる。

## SP3 倫理・価値判断の方法 [ 選択 ]

### トピックス

倫理的な論証の実践と評価  
倫理的な選択肢の探索  
設計判断が与える社会的影響の理解  
判断の前提と価値観の明確化  
情報関連法

### 学習成果

1. 倫理上の判断が問われる具体的な問題に対して、相違する立場からどのような論証が可能か議論できる。
2. 情報技術に基づくプロジェクトの推進に関して、その利害関係者を想定しそれらの人々に対するプロジェクト担当者の義務を定めることができる。
3. 技術的判断を行う際に倫理上のトレードオフを明確にするような思考ができる。

## SP4 専門家としての倫理的責任 [ コア 最低履修時間 3 時間 ]

### トピックス

生活の場における価値観と法との関係  
様々な形態の専門家の資格認定，その利点と欠点  
公共政策における専門家の役割  
結果に対しての責任感の持続  
倫理上の反対意見と内部告発  
倫理綱領と実践（学会，専門職業者団体など）  
ハラスメントと差別への対応  
職場のコンピュータ環境における「許容される利用」規定

### 学習成果

1. 企業倫理が問われるような事件に対し、内部告発、消費者運動、マスコミなどが果たす役割と功罪について論じることができる。
2. ソフトウェア開発において起こる倫理上の問題を識別し、それに対する技術的な対策と倫理的な対策を考察できる。
3. 組織内の内部統制のあり方について、法制度の動きと産業界の現状を説明できる。
4. 情報処理学会などの組織の倫理綱領を分析し評価できる。

## SP5 情報システムのリスクと脆弱性 [ 選択 ]

### トピックス

ソフトウェア・リスクの歴史的な例 ( Therac-25 のケースなど )  
ソフトウェアの複雑さの影響  
リスクの評価と管理

### 学習成果

1. ソフトウェアの不具合がもたらす社会への影響について、具体例に基づき説明できる。
2. 機能的正しさ、信頼性、安全性の違いを説明できる。
3. 既存のコンポーネントを再利用する際の隠れたリスクについて論じることができる。
4. リスク管理と評価の代表的な手法について、簡単に説明できる。

## SP6 知的財産権 [ コア 最低履修時間 3 時間 ]

### トピックス

知的財産権の基礎  
著作権、特許権、企業秘密  
ソフトウェア著作権侵害  
ソフトウェア特許  
知的財産権に関する国際問題

### 学習成果

1. 特許権と著作権の違いについて、明確に説明できる。
2. 国内法と条約による知的財産権の保護のあり方、また国による違いについて説明できる。
3. ソフトウェア特許とソフトウェア著作権の歴史的な進展について概要を述べるができる。
4. P2P によるファイル交換システムの何が問題で何が問題でないか論じることができる。

## SP7 プライバシーと市民的自由 [ コア 最低履修時間 2 時間 ]

### トピックス

プライバシー保護のための倫理的法律的根拠  
大規模データベースシステムにおけるプライバシーの意味  
プライバシー保護のための技術戦略  
サイバースペースにおける表現の自由

### 学習成果

1. プライバシーの権利と表現の自由について、それぞれどのような法的根拠に基づき、どのように調整されるべきか論じることができる。

2. インターネットによってプライバシーがどのような脅威にさらされているか議論できる。
3. インターネットが表現の自由保護に及ぼしうる影響について議論できる。

## SP8 コンピュータ犯罪 [選択]

### トピックス

コンピュータ犯罪の歴史および事例  
クラッキング(ハッキング)とその影響  
ウイルス, ワーム, トロイの木馬  
サービス不能化攻撃  
犯罪防止戦略

### 学習成果

1. コンピュータウイルスやサービス不能化攻撃の技術的なメカニズムを概説できる。
2. いくつかのクラッキングの方法とそれへの対策について論じることができる。
3. セキュリティ対策とその費用に関わるトレードオフについて議論できる。

## SP9 コンピュータにおける経済問題 [選択]

### トピックス

市場の独占とその経済的意味  
コンピュータ製品の品質に及ぼす熟練労働者の需要と供給の影響  
コンピュータ分野における価格決定戦略  
コンピュータ資源へのアクセスの差異とその影響

### 学習成果

1. コンピュータ産業における独占化・寡占化の傾向とその原因について説明できる。
2. ソフトウェア開発の海外への委託発注(アウトソーシング)の実態と意味について論じることができる。
3. コンピュータ産業における生産性の進展状況について概説できる。

## SP10 哲学的枠組み [選択]

### トピックス

哲学的枠組み, 特に功利主義と義務論  
倫理的相対主義の問題  
歴史的視野で見た科学倫理  
科学的アプローチと哲学的アプローチの差異



## 学習成果

1. 科学哲学の視点で見た情報科学・工学の特徴について議論できる。
2. 応用倫理学の一分野としての情報倫理の特徴について議論できる。

# ソフトウェア工学 ( SE )

ソフトウェアシステムは、そのシステムを使うユーザ、および開発プロジェクトの費用を負担する顧客、両方の要求を満足させなければならない。さらに、ソフトウェア開発チームの作業は、適切に見積もられ、計画され、効率的に進められることが求められる。ソフトウェア工学で学ぶ知識および理論は、要求を満足させる品質をもったソフトウェアを、効率的に開発するために必要である。また、その適用範囲は、ソフトウェアのライフサイクル、すなわち、要求分析から設計、構築、テスト、および運用と保守までの全体に及び、開発者には、それらを様々な状況に応じて適用することが求められる。

## SE1 ソフトウェア設計 [コア 最低履修時間 8 時間]

### トピックス

- 基本的な設計概念および原理
- 構造化設計
- オブジェクト指向分析および設計
- ソフトウェアアーキテクチャ
- 設計パターン
- コンポーネントレベルの設計
- リファクタリングおよび再利用のための設計

### 学習成果

1. よいソフトウェア設計がもつべき性質について説明できる。
2. オブジェクト指向分析・設計と構造化分析・設計とを比較して説明できる。
3. 最低三つのソフトウェアアーキテクチャのスタイルを示し、設計の原理および概念を説明できる。
4. 設計の原理に基づいて、複数のソフトウェア設計の品質を評価する項目について説明できる。
5. 設計パターンを適用する目的を説明でき、さらに、ソフトウェアアプリケーションを構築する際に、設計パターンを適用すべき箇所と根拠を説明できる。
6. 与えられたソフトウェア要求仕様に基づいて、一般に認められたプログラム設計方式（例えば、構造化設計またはオブジェクト指向設計）および適切な設計表記法を用いて、中規模ソフトウェア製品の設計を行い、設計仕様書として記述できる。
7. 適切なガイドラインを利用して、ソフトウェア設計のレビューを行うことができる。
8. コンポーネントレベルでソフトウェアの設計を評価できる。
9. 再利用の観点からソフトウェアの設計を評価し、リファクタリングの必要性を説明できる。

## SE2 API の使用 [コア 最低履修時間 5 時間]

### トピックス

- API プログラミング
- クラスブラウザおよび関連のツール
- 例によるプログラミング

## API 環境におけるデバッグ コンポーネントベース開発入門

### 学習成果

1. ソフトウェア開発における API の利点を説明できる。
2. API を使うアプリケーションの開発において，クラスブラウザおよび関連ツールを使用できる。
3. 小規模のアプリケーションプログラムの開発において，大規模 API パッケージを使う場合の設計，実装，テスト，デバッグのプロセスを説明できる。

## SE3 ソフトウェアツールおよび環境 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

プログラミング環境  
要求分析および設計モデリングツール  
テストツール  
構成管理ツール  
ツール統合メカニズム

### 学習成果

1. 特定の領域におけるソフトウェアを開発するために，必要なツール（例えば，構成管理，プロジェクト管理，モデリング，またはテスト用）を選択することができ，選択した理由を説明できる。
2. 中規模のソフトウェア製品の開発を支援するソフトウェアツールを使い，設計モデリング，プログラミング，テスト，構成管理を行うことができる。

## SE4 ソフトウェアプロセス [コア 最低履修時間 2 時間]

### トピックス

ソフトウェアライフサイクルおよびプロセスモデル  
ウォータフォールモデル  
インクリメンタルモデル  
統一プロセスモデル  
アジャイル開発  
プロセス評価モデル  
プロセス成熟度モデル  
ソフトウェアプロセス計量尺度

### 学習成果

1. ソフトウェアライフサイクルに基づいて，各開発フェーズの目的を，そこで作成される成果物とともに説明できる。

2. 種々のソフトウェア製品（例えば、業務支援、組込みソフトウェア、制御ソフトウェアなど）の開発および保守に最も適したソフトウェアライフサイクルモデルを選択し、それが適している理由を説明できる。
3. ソフトウェアの品質向上に果たすプロセス成熟度モデルの役割を説明できる。
4. 伝統的なウォーターフォールモデルを、インクリメンタルモデル、統一プロセスモデル、およびその他のモデルと比較し、各モデルの特徴と長所および短所を説明できる。
5. 複数のソフトウェアプロジェクトのシナリオを参照し、ソフトウェアライフサイクルにおけるプロジェクトの位置付けを説明し、次に遂行されるべき特定のタスクを定め、またそれらのタスクに適した計量尺度を示すことができる。

## SE5 ソフトウェア要求および仕様 [コア 最低履修時間 5 時間]

### トピックス

ステークホルダ分析と要求獲得  
 要求分析モデリング技法  
 機能要求と非機能要求  
 プロトタイピング  
 形式仕様技法の基礎的な概念

### 学習成果

1. ステークホルダ分析および要求獲得の目的を説明できる。
2. ステークホルダ分析、要求獲得、要求の分析を行うために、プロトタイピングをはじめとした各種手法、および形式的ではないモデル化手法を適用し、中規模のソフトウェアを開発するための要求仕様書を作成できる。
3. ソフトウェアの保守が困難になる理由を、要求仕様書の管理という点から説明できる。
4. 文書の品質を決定するために、過去の成功事例を適用してソフトウェア要求仕様書のレビューを行うことができる。
5. 広く使用されている形式仕様言語で書かれたソフトウェア要求仕様書を自然言語に変換できる。

## SE6 ソフトウェア妥当性検査 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

妥当性検査と検証  
 妥当性検査  
 テスト計画立案とテストケース生成を含むテスト基本事項  
 ブラックボックステスト、ホワイトボックステスト  
 単体テスト、統合テスト、システムテスト  
 オブジェクト指向テスト  
 インスペクション

## 学習成果

1. プログラムの妥当性検査と検証とを区別して説明できる。
2. ソフトウェアの妥当性検査において、ツールの果たしうる役割を説明できる。
3. 中規模のソフトウェア製品に対する様々な種類、およびレベル（単体、統合、システム、および受入れ）のテストの違いを説明できる。
4. 中規模のコードセグメントのテスト計画を作成し、評価し、テストを実行して、テスト結果を示すことができる。
5. チーム活動の一部として中規模のコードセグメントの査閲を行うことができる。
6. オブジェクト指向ソフトウェアのテストが抱える問題について説明できる。

## SE7 ソフトウェアの進化 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

ソフトウェアの保守  
保全性のあるソフトウェアの特徴  
リエンジニアリング  
    回帰テスト、リリース管理  
レガシーシステム  
リバースエンジニアリング  
ソフトウェアの再利用

## 学習成果

1. ソフトウェアの進化と、それに関連する主要な問題を確認し、それらのソフトウェアライフサイクルに対する影響を説明できる。
2. レガシーシステムの保守に関する問題点、および対処方法を、構成管理の重要性と、リバースエンジニアリングの必要性という観点から説明できる。
3. 回帰テストのプロセスおよびリリース管理における役割を説明できる。
4. 中規模の任意のソフトウェアに対する変更要求の影響を見積もることができる。
5. ある変更要求に応じて中規模の製品をリエンジニアリングするための計画を立案できる。
6. ソフトウェア再利用の利点および欠点について説明できる。

## SE8 ソフトウェアプロジェクト管理 [コア 最低履修時間 3 時間]

### トピックス

コーディング規約  
チーム管理  
    チームプロセス  
    チーム編成と意思決定  
ソフトウェアチームにおける役割と責任  
    役割の識別と割当て

- プロジェクト追跡
- チーム問題の解決
- プロジェクト計画
- ソフトウェア計測および見積り技術
- リスクの分析
- ソフトウェア品質保証
- ソフトウェア構成管理
- プロジェクト管理ツール

## 学習成果

1. チームプロジェクトにおけるチーム構成とチーム管理の主要な要素を説明できる。
2. ソフトウェアプロジェクトに備えてプロジェクト計画を準備することができる。ただし、この計画には規模および工数の見積り、日程、資源配分、構成制御、変更管理、およびリスクの識別と監視、対策が含まれる。
3. ソフトウェア製品の品質を保証するために使用される様々な方法と技術を比較して説明できる。

## SE9 コンポーネントベース開発 [ 選択 ]

### トピックス

#### 基本的事項

- コンポーネントの定義および性質
- コンポーネントおよびインターフェース
- 契約としてのインターフェース
- コンポーネントの利点

#### 基礎技術

- コンポーネントの設計および組立て
- コンポーネントとクライアントサーバ・モデルとの関係
- コンポーネントと設計パターンとの関係
- オブジェクトおよびオブジェクトライフサイクル・サービスの使用
- オブジェクトブローカ、または Web サービスの使用
- マーシャリング

アプリケーション（モバイルコンポーネントの使用を含む）

コンポーネントベースシステムのアーキテクチャ

コンポーネント指向設計

イベントの検出、通知、および応答

ミドルウェア

- ミドルウェア中のオブジェクト指向パラダイム
- オブジェクトブローカ、Web サービス
- トランザクション処理モニタ
- ワークフローシステム
- ツール

## 学習成果

1. 高品質のソフトウェアコンポーネントを構築するために、既存の原理を適用することについて説明し、実際に適用できる。
2. 与えられたシナリオに適切なコンポーネントベースシステムのためのアーキテクチャを評価し、選択できる。
3. 与えられた一つ以上の API において実装されているイベント処理の種類を説明できる。
4. ミドルウェアシステムにおけるオブジェクトの役割およびコンポーネントとの関係を説明できる。
5. コンポーネント指向アプローチを一連のソフトウェアの設計に適用できる。ソフトウェアとしては並行処理とトランザクション、信頼できる通信サービス、遠隔照会およびデータベース管理のためのサービスを含むデータベース操作、安全な通信とアクセスなどを行うものを含む。

## SE10 形式手法 [選択]

### トピックス

形式手法の概念  
形式仕様言語  
実行可能および実行不可能な仕様  
事前および事後表明  
形式的検証

## 学習成果

1. 若干の複雑さをもつ小規模なプログラムに対して形式的検証技術を適用できる。
2. ソフトウェアの妥当性検査およびテストにおける形式的検証技術の役割について議論できる。
3. 形式仕様言語を用いることの潜在的な利益および不利益を説明できる。
4. 簡単なものから複雑なものにわたる様々な状況に対して事前および事後表明を作成し、評価できる。
5. 一般の形式仕様言語を用いて、簡単なソフトウェアシステムの仕様書を定式化することができ、品質の見地からその利点を示して説明できる。

## SE11 ソフトウェアの信頼性 [選択]

### トピックス

ソフトウェアの信頼性モデル  
冗長性と対故障性  
欠陥分類  
確率的分析方法

## 学習成果

1. あるソフトウェアシステムの信頼性を見積もるために、複数の方法を適用できる。

2. 中規模のアプリケーションソフトウェアの冗長性と対故障性を定めることができ、それを具体的なソフトウェアに対して適用できる。
3. 非常に高いレベルの信頼性を達成するにあたって存在する問題を説明できる。
4. 指定された信頼性のレベルを達成するソフトウェアアーキテクチャを示すことができ、さらに、それを実現する方法を説明できる。

## SE12 専用システムの開発 [選択]

### トピックス

リアルタイムシステム  
クライアントサーバシステム  
分散処理システム  
並列システム  
ウェブベースシステム  
高完成度のシステム

### 学習成果

1. 様々な専用システムを識別し、その特徴を説明できる。
2. 特定の目的のために設計されているソフトウェアシステムに関して、ライフサイクルおよびソフトウェアプロセスの問題について議論することができる。
3. 専用のソフトウェアシステムに対して、効率的かつ効果的な開発および保守が可能となると思われる方法を選択し、それが適切である理由を説明できる。
4. 特定の状況で、それに関連する専門的な一群の問題が与えられたとして、専用システムの開発に従事するソフトウェア技術者がそれらの問題にいかに対応するべきであるかを議論することができる。
5. 専用システム開発の実施と関連した中心的な技術上の問題を説明できる。



# 計算科学と数値計算 ( CN )

数値計算法と科学計算技術は、最も早い時期から、コンピュータ科学の研究の主要な分野を成してきた。現在でもコンピュータの応用分野として重要な地位を占めることは間違いない。しかし、他の分野でのコンピュータの応用の広がりとともに、その相対的な地位は下がっている。ここでは、CNのいずれのユニットもコアとはしていない。

## CN1 数値解析 [ 選択 ]

### トピックス

浮動小数点演算  
誤差, 安定性, 収束  
テイラー級数  
求解のための逐次的解法 ( ニュートン法 )  
曲線の当てはめ, 関数近似  
数値微分と数値積分 ( シンプソン則 )  
微分方程式  
線形代数, 行列計算, 連立方程式の解法  
差分法  
高速フーリエ変換 ( FFT )

### 学習成果

1. 誤差, 安定性, 機械精度の概念, 計算近似の非正確性などの概念について定義を述べることができる。
2. 計算近似の非正確性の生じる要因を指摘することができる。
3. 数値積分などの簡単な数値計算プログラムを作成することができる。

## CN2 オペレーションズリサーチ [ 選択 ]

### トピックス

線形計画法  
    整数計画法  
    シンプレックス法  
確率的モデリング  
待ち行列理論  
最適化  
ネットワーク解析  
予測と推定  
動的計画法  
応用例  
ソフトウェアツール

## 学習成果

1. オペレーションズリサーチの基本的な技法を説明できる。
2. 予測および推定のためのいくつかの確立されている技法を説明できる。

## CN3 モデリングとシミュレーション [選択]

### トピックス

#### 乱数

擬似乱数生成とテスト

モンテカルロ法

分布関数初歩

#### シミュレーションモデリング

離散イベントシミュレーション

連続シミュレーション

シミュレーションモデルの検証と妥当性実証

待ち行列モデル

応用例

## 学習成果

1. 計算機シミュレーションの基本的な概念について論じることができる。
2. 計算機シミュレーションのモデルを比較対照できる。
3. 簡単な乱数生成法およびテスト技法について論じることができる。

## CN4 ハイパフォーマンス・コンピューティング [選択]

### トピックス

#### ハイパフォーマンス・コンピューティング初歩

計算科学の歴史と重要性

応用分野の概観

必要な技法のレビュー

#### ハイパフォーマンス・コンピューティング

プロセッサ・アーキテクチャ

高性能化のためのメモリシステム

入出力装置

パイプライン処理

並列言語と並列アーキテクチャ

#### 科学的可視化

結果のプレゼンテーション

データ形式

可視化ツールとパッケージ

問題例

## 学習成果

1. 計算モデリングが有効で、高速科学計算が重要であるような問題分野をいくつか挙げるができる。
2. 科学並列計算の各種アーキテクチャを比較対照できる。



# 付録 B

## コンピュータ科学 科目例

2009年1月20日

情報処理学会 コンピュータ科学教育委員会



図 3. 科目例一覧およびエリアとの対応

	講義科目名	BoK エリア
A1	離散構造 (1)	DS 離散構造
A2	離散構造 (2)	DS 離散構造
A3	基礎プログラミング (1)	PF プログラミングの基礎
A4	基礎プログラミング (2)	PF プログラミングの基礎
A5	アルゴリズム (1)	AL アルゴリズム
A6	アルゴリズム (2)	AL アルゴリズム
A7	コンピュータシステム序論	AR アーキテクチャと構成
A8	コンピュータアーキテクチャ	AR アーキテクチャと構成
A9	オペレーティングシステム	OS オペレーティングシステム
A10	コンピュータネットワーク	NC ネットワークコンピューティング
A11	ウェブアプリケーション	NC ネットワークコンピューティング
A12	プログラミング言語	PL プログラミング言語
A13	ヒューマンコンピュータインタラクション	HC ヒューマンコンピュータインタラクション
A14	マルチメディア表現論	MR マルチメディア表現
A15	コンピュータグラフィックス	GV グラフィックスとビジュアル・コンピューティング
A16	人工知能 (インテリジェントシステム)	IS インテリジェントシステム
A17	情報管理 (データベース)	IM 情報管理
A18	社会における情報技術	SP 社会的視点と情報倫理
A19	ソフトウェア工学 (1)	SE ソフトウェア工学
A20	ソフトウェア工学 (2)	SE ソフトウェア工学
A21	数値計算	CN 計算科学と数値計算
B1	コンピュータ科学入門	
B2	メディア・インタラクション	
B3	データマイニング	

# A1 離散構造 (1)

情報に関わる科学技術を勉強していく中で必要となる数学的な素養を身につけさせる。具体的には、数学で築かれてきた重要な概念を習得し、記号を正しく使って論理的に解明していくことができるようにする。直感を数学的・形式的に明確に表すこと、また、その逆に、形式的に記述されていることから直感的な理解を得ることができるようにする。

離散構造の科目は、(1) と (2) に分けて通年で行うことを想定して設計しているが、離散構造 (2) の方は、オートマトンや形式言語、あるいは計算論のような授業の導入部・基礎編としても設計可能である。

以下の授業内容は個々に教えるのではなく、例えば、集合の包含関係を論理記号を用いて形式的に証明させる、など、いくつかの項目を関連させて教えることが重要である。

## 先修ユニット

なし

## 講義項目

- 関数，関係，集合
- 論理——命題論理，証明法
- グラフ——二項関係とグラフ
- 証明技法——含意，逆，否定，対偶，矛盾，推論規則，公理，定理
- 数え上げ論法，順列と組合せ，漸化式の解法——数え上げ論法，順列と組合せ，漸化式の解法，離散確率の基礎

## 講義計画例

1. 集合と関数——定義と記法
2. 関数——全射，単射，濃度と可算性
3. 命題論理——論理記号，真理値表，標準形（和積標準形と積和標準形）
4. 命題論理と証明法——恒真性，三段論法，含意，逆，否定，対偶，矛盾
5. 述語論理——導入
6. 二項関係——反射律，対称律，推移律，同値関係
7. 二項関係——同値類とその応用
8. グラフ——定義と記法
9. 二項関係とグラフ——有向グラフによる表現，推移閉包
10. 集合と論理の総合演習
11. 数え上げ論法——順列と組合せ
12. 数え上げ論法——漸化式の解法
13. 確率の基礎——定義と記法，簡単な計算法
14. 確率の基礎——期待値，分散，簡単な応用
15. 数え上げと離散確率の総合演習



## カバーするコアユニット

DS1	関数, 関係, 集合	( 6 時間 )
DS2	論理	( 3 時間 / 6 時間 )
DS3	グラフ	( 2 時間 / 4 時間 )
DS4	証明技法	( 3 時間 / 8 時間 )
DS5	数え上げと離散確率の基礎	( 7 時間 )

## 教科書・参考書

- 守屋悦朗, 離散数学入門, サイエンス社, 2006 .
- 石村園子, やさしく学べる離散数学, 共立出版, 2007 .
- 戸田誠之助, 情報科学のための論理分析テクニック, 培風館, 2007 .
- R. Graham , D. Knuth , O. Patashnik ( 有澤誠ほか訳 ), コンピュータの数学, 共立出版, 1993 .
- 玉木久夫, 情報科学のための確率入門, サイエンス社, 2002 .

## A2 離散構造 (2)

情報に関わる科学技術を勉強していく中で必要となる数学的な素養を身につけさせる。離散構造 (2) の方は、再帰的な論法やオートマトンの状態遷移など「計算」に関連の深い項目を教える。

離散構造の科目は、(1) と (2) に分けて通年で行うことを想定して設計しているが、離散構造 (2) の方は、オートマトンや形式言語、あるいは計算論のような授業の導入部・基礎編としても設計可能である。

### 先修ユニット

離散構造 (1) でカバーするコアユニット

### 講義項目

- 論理——述語論理
- 証明技法——数学的帰納法
- グラフ——木
- オートマトンと正規表現——正規表現，有限オートマトン，DFA と NFA の等価性，正規表現と有限オートマトンの等価性
- 計算論概論——文法の基本とチョムスキー階層，オートマトン型の計算モデル，計算可能性・不可能性，様々な計算モデル

### 講義計画例

1. 述語論理
2. 証明技法——述語論理の証明技法
3. 数学的帰納法——帰納法の原理，帰納法の使い方
4. 数学的帰納法——帰納法の実際への応用
5. 数学的帰納法——再帰的定義
6. グラフ——木
7. 証明技法の総合演習
8. 正規表現
9. 有限オートマトン
10. DFA と NFA の等価性
11. 正規表現と有限オートマトンの等価性
12. オートマトンと正規表現の総合演習
13. 文法の基本とチョムスキー階層
14. オートマトン型の計算モデル
15. 計算可能性・不可能性，様々な計算モデル

## カバーするコアユニット

DS2	論理	( 3 時間 / 6 時間 )
DS3	グラフ	( 2 時間 / 4 時間 )
DS4	証明技法	( 5 時間 / 8 時間 )
DS6	オートマトンと正規表現	( 6 時間 )
DS7	計算論概論	( 4 時間 )

## 教科書・参考書

- M. Sipser ( 太田和夫ほか訳 ), 計算理論の基礎 ( 第 2 版 ), 共立出版, 2008 .

## A3 基礎プログラミング (1)

コンピュータ科学において、プログラミング言語を習得することは必要不可欠である。少なくとも一つのプログラミング言語を十分使えるようにならないと。本科目ではプログラミングにとって基礎となる知識および基礎的なプログラミングの実践に必要な技術および概念を習得する。具体的には、基本的プログラミング概念、基礎的なデータ構造、および基礎的なアルゴリズム的プロセスについて学ぶ。本科目と基礎プログラミング (2) とを合わせてプログラミングの基礎をカバーしているので、この科目の履修に引き続き、基礎プログラミング (2) を履修する必要がある。

具体的にプログラミング言語を規定してはいないが、C や Pascal といったここで教える内容の範囲をカバーする言語なら、どの言語を使っても大差ないと思われる。引き続き科目に応じて言語を定めればよい。

### 先修ユニット

なし

### 講義項目

- プログラミングの基本的構成要素——高水準言語の基本構文と意味論，変数，型，式，代入，単純な入出力，条件判定と繰返しの制御構造
- アルゴリズムと問題解決——問題解決戦略，問題解決過程におけるアルゴリズムの役割，アルゴリズムの実現戦略，デバッグ戦略，アルゴリズムの概念と特性
- 基本データ構造——基本型，配列，レコード，文字列と文字列処理，メモリ内でのデータの表現

### 講義計画例

1. プログラミングとは
2. 高水準言語の基本構文と意味論
3. 変数，型，式，代入
4. 基本データ型
5. 単純な入出力
6. 条件判定の制御構造
7. 繰返しの制御構造
8. 問題解決とアルゴリズム
9. アルゴリズムの実現戦略
10. 配列
11. レコード
12. 文字列と文字列処理
13. メモリ内でのデータの表現
14. アルゴリズムの実現，テスト，デバッグ
15. デバッグ戦略

## カバーするコアユニット

- PF1 プログラミングの基本的構成要素 (6 時間 / 9 時間)
- PF2 アルゴリズムと問題解決 (6 時間)
- PF3 基本データ構造 (6 時間 / 14 時間)

## 教科書・参考書

- N. Wirth (野下浩平ほか訳), 系統的プログラミング入門(第2版補訂), 近代科学社, 1986.
- L. Goldschlager, A. Lister (武市正人ほか訳), 計算機科学入門(第2版), 近代科学社, 2000.

## A4 基礎プログラミング (2)

本科目は基礎プログラミング (1) での学習目標を達した前提で受講すべきである。具体的には，関数と引数受渡し，基本データ構造，再帰，イベント駆動プログラミングについて学ぶ。

### 先修ユニット

基礎プログラミング (1) でカバーするコアユニット

### 講義項目

- プログラミングの基本的構成要素——関数と引数受渡し，構造的分解
- 基本データ構造——静的割当て，スタック割当て，ヒープ割当て，実行時記憶管理，ポインタと参照，連結構造，スタック，キューおよびハッシュ表の実現戦略，グラフと木の実現戦略，適切なデータ構造を選択するための戦略
- 再帰——再帰の概念，再帰的数学関数，簡単な再帰の手続き，分割統治法，再帰的バックトラック法，再帰の実現
- イベント駆動プログラミング——イベント処理手法，イベント伝播，例外処理

### 講義計画例

1. 関数と引数受渡し
2. プログラムの構造的分解
3. 基本データ構造の実現法
4. ポインタと参照
5. 実行時記憶管理
6. 連結構造
7. スタック，キューおよびハッシュ表
8. グラフと木
9. 適切なデータ構造を選択するための戦略
10. 再帰の概念
11. 再帰の手続きと分割統治法
12. 再帰的バックトラック法と再帰の実現
13. イベント処理手法
14. イベント伝播
15. 例外処理

### カバーするコアユニット

PF1	プログラミングの基本的構成要素	( 3 時間 / 9 時間 )
PF3	基本データ構造	( 8 時間 / 14 時間 )
PF4	再帰	( 5 時間 )
PF5	イベント駆動プログラミング	( 4 時間 )

## 教科書・参考書

- R. Sedgewick (野下浩平ほか訳), アルゴリズム C・新版, 近代科学社, 2004.

# A5 アルゴリズム (1)

様々な処理の基本となるアルゴリズムの設計手法を習得させる。計算量の概念を理解し，アルゴリズムの効率を意識しつつ，適切な設計方針・設計手法を選択できる能力を身につけさせる。

演習時間をもうけ，学んだアルゴリズムの動きを考えさせたり，場合によってはプログラム化させることが重要である。また，同じ処理をする場合でも，アルゴリズムの良し悪しによって効率が大きく変わることを体験させ，理論的な解析に対して直感的な理解を得させることも重要である。

アルゴリズム設計例やオプショナルな内容では，網羅的に教授するのではなく，学生の興味などに即し，適切なテーマを選択して教えるべきである。

## 先修ユニット

離散構造 DS の各ユニット

プログラミングの基礎 PF の各ユニットは先修されるか，並行して講義されるのが望ましい

## 講義項目

- 計算量の解析，漸化式を用いた再帰的アルゴリズムの解析
- 性能の実験的な測定
- 二分探索法
- 再帰を用いたアルゴリズム設計法，分割統治法，動的計画法
- 深さ優先探索，幅優先探索，貪欲法
- 基本データ処理アルゴリズム
- 整列アルゴリズム，探索アルゴリズム

## 講義計画例

1. アルゴリズムの記述法，アルゴリズム効率の解析の基礎
2. 二分探索法とその計算量解析
3. 再帰によるアルゴリズムの記述——導入
4. 再帰によるアルゴリズムの記述——設計と計算量解析
5. 分割統治法とその計算量解析
6. アルゴリズムの実現事例と実際の計算時間の測定：導入例
7. 動的計画法とその計算量解析——導入
8. 動的計画法とその計算量解析——設計と計算量解析
9. 基本データ処理アルゴリズム——素朴な整列アルゴリズム
10. 基本データ処理アルゴリズム——クイックソート，ヒープソート
11. 基本データ処理アルゴリズム——マージソート，線形時間の整列アルゴリズム
12. 基本データ処理アルゴリズム——基本データ構造（リスト，木）
13. 基本データ処理アルゴリズム——基本データ構造（スタック，待ち行列）
14. 基本データ処理アルゴリズム——応用データ構造（ハッシュ）
15. 基本データ処理アルゴリズム——応用データ構造（平衡木）



## カバーするコアユニット

- AL1 アルゴリズムの解析の基礎 ( 4 時間 )
- AL2 アルゴリズム設計手法 ( 8 時間 )
- AL3 基本アルゴリズム ( 6 時間 / 8 時間 )

## 教科書・参考書

- 石畑清, アルゴリズムとデータ構造, 岩波書店, 1989 .
- 茨木俊秀, C によるアルゴリズムとデータ構造, 昭晃堂, 1999 .
- 奥村晴彦, C 言語による最新アルゴリズム事典, 技術評論社, 1991 .
- R. Sedgewick ( 野下浩平ほか訳 ), アルゴリズム C ・新版, 近代科学社, 2004 .

## A6 アルゴリズム (2)

アルゴリズム (1) に引き続いて、より高度なアルゴリズムの設計手法や具体例を学習する。

### 先修ユニット

- AL1 アルゴリズムの解析の基礎
- AL2 アルゴリズム設計手法
- PF1 プログラミングの基本的構成要素
- PF3 基本データ構造

### 講義項目

- 基本アルゴリズム——文字列・テキスト処理アルゴリズム，グラフアルゴリズム
- 計算量クラス P と NP
- 高度なアルゴリズムの設計——各種近似アルゴリズム，乱択アルゴリズム ( randomized algorithm )
- 暗号アルゴリズム
- 幾何アルゴリズム
- データ分析アルゴリズム
- 並列アルゴリズムと分散アルゴリズム

### 講義計画例

1. 文字列探索アルゴリズム ( 素朴な方法 )
2. 文字列探索アルゴリズム ( KMP 法，BM 法 )
3. テキスト処理アルゴリズム
4. グラフの表現
5. グラフアルゴリズム ( 深さ優先探索，幅優先探索 )
6. グラフアルゴリズム ( 最短経路，全域木 )
7. 近似アルゴリズムと乱択アルゴリズム
8. 暗号アルゴリズム
9. 幾何アルゴリズム
10. データ分析アルゴリズム
11. 並列アルゴリズムと分散アルゴリズム
12. 計算量クラス P と NP
13. アルゴリズムの実現例と実際の計算時間
14. アルゴリズムツールの使用
15. アルゴリズムの可視化

### カバーするコアユニット

- AL3 基本アルゴリズム ( 2 時間 / 8 時間 )

## 教科書・参考書

- R. Sedgewick (野下浩平ほか訳), アルゴリズム C・第3巻 — グラフ・数理・トピックス, 近代科学社, 1996.

## A7 コンピュータシステム序論

アーキテクチャと構成に関連する講義は、本講義と「A8 コンピュータアーキテクチャ」に分けられている。本講義のねらいは、アーキテクチャの基礎知識の習得と命令レベルでの動作原理を理解させることにある。コンピュータの基本的構成要素としての論理素子と論理回路の基礎について述べ、コンピュータで取り扱う様々なデータの表現方式について説明する。また、現在のコンピュータの基本構成、および命令について解説し、アセンブリ言語による簡単なプログラミングを通してプロセッサの動作を学ぶ。

### 先修ユニット

なし

### 講義項目

- 論理回路と論理システム——計算機アーキテクチャの概要と歴史（基本的構成要素，論理ゲート，フリップフロップ，カウンタ，レジスタ，PLA），論理式，最小化，積和形，レジスタ転送表現，物理的特性（ゲートの遅延，ファンイン，ファンアウト）
- データのマシンレベルでの表現——ビット，バイト，ワード，数値表現と基数，固定小数点表現と浮動小数点表現，符号付き絶対値表現と2の補数表現，非数値データの表現（文字コード，グラフィックデータ），レコードと配列の表現
- アセンブリレベルのマシン構成——フォンノイマン計算機の基本構成，制御ユニット，命令セットと命令の種類，アセンブリプログラミング，機械語プログラミング，命令フォーマット，アドレッシングモード，サブルーチンのコールとリターンメカニズム，入出力と割込み

### 講義計画例

1. 計算機アーキテクチャの概要と歴史
2. 論理回路の基本的構成要素
3. 論理式
4. 論理回路の最小化
5. フリップフロップ
6. カウンタ
7. ゲートの物理的特性
8. データのマシンレベルでの表現
9. 計算機の基本構成——データパス
10. 計算機の基本構成——制御
11. 命令セットと命令の種類
12. 命令フォーマットとアドレッシングモード
13. アセンブリプログラミング，機械語プログラミング
14. サブルーチンのコールとリターンメカニズム
15. 入出力と割込み

## カバーするコアユニット

AR1 論理回路と論理システム (6 時間)

AR2 データのマシンレベルでの表現 (2 時間)

AR3 アセンブリレベルのマシン構成 (7 時間)

## 教科書・参考書

- 柴山潔, コンピュータアーキテクチャの基礎(改訂新版), 近代科学社, 2003.

## A8 コンピュータアーキテクチャ

アーキテクチャと構成に関連する講義は「A7 コンピュータシステム序論」と本講義に分けられている。本講義は、論理回路とデータ表現の基礎的理解を前提として設計されている。計算機の基本構成について述べ、プロセッサの構成と動作、パイプライン処理、キャッシュメモリや仮想記憶などの記憶階層、並列処理の基礎、およびスーパースカラーやマルチスレッディングなど様々なプロセッサの高速化技法について解説する。

### 先修ユニット

- AR1 論理回路と論理システム
- AR2 データのマシンレベルでの表現

### 講義項目

- アセンブリレベルのマシン構成——フォンノイマン計算機の基本構成、制御ユニット、命令セットと命令の種類
- メモリシステムの構成とアーキテクチャ——記憶システムとこれに関連する技術、記憶階層、主記憶の構成と操作、レイテンシ、サイクルタイム、バンド幅、インターリーブ、キャッシュメモリ（アドレス割当て、ブロックサイズ、置換えと書き込みに関するポリシー）、仮想記憶（ページテーブル、TLB）、障害処理と信頼性
- インタフェースと通信——入出力の基礎（ハンドシェイク、バッファリング、プログラム入出力、割込みを用いた入出力）、割込みの構造（割込みベクトル、優先順位、割込みに対する応答）、外部記憶、物理的構成、ドライブ、バス、ネットワークの入門的説明、マルチメディアのサポート、RAID アーキテクチャ
- 機能的構成——簡単なデータパスの構成、制御ユニット（ワイヤードロジックによる実現、マイクロプログラムによる実現）、命令のパイプライン化、命令レベル並列性（ILP）の概説
- 並列処理と様々なアーキテクチャ——SIMD、MIMD、VLIW、EPIC の紹介、シストリックアーキテクチャ、マルチコア、相互結合ネットワーク、共有メモリシステム、キャッシュコヒーレンス、メモリモデルと一貫性
- 性能の向上——スーパースカラーアーキテクチャ、分岐予測、投機的実行、マルチスレッディング、スケラビリティ
- 組込みシステム

### 講義計画例

1. フォンノイマン計算機の基本構成
2. 命令セットと命令の種類
3. 簡単なデータパスの構成
4. 制御ユニット
5. パイプライン制御の基礎とハザード
6. パイプライン制御におけるハザード解決
7. キャッシュメモリ——局所性、アドレス割当て、ブロック
8. キャッシュメモリ——インターリーブ、キャッシュの性能、マルチレベルキャッシュ

9. 仮想記憶
10. 外部記憶と RAID アーキテクチャ
11. インタフェースと通信
12. SIMD, MIMD, VLIW, 相互結合ネットワーク, マルチコア
13. 共有メモリシステムとキャッシュコヒーレンス
14. 性能の向上——スーパースカラーアーキテクチャ, 分岐予測, マルチスレッディング
15. 組込みシステム

## カバーするコアユニット

AR3	アセンブリレベルのマシン構成	( 3 時間 / 7 時間 )
AR4	メモリシステムの構成とアーキテクチャ	( 5 時間 )
AR5	インタフェースと通信	( 3 時間 )
AR6	機能的構成	( 7 時間 )
AR7	並列処理と様々なアーキテクチャ	( 2 時間 )

## 教科書・参考書

- D. A. Patterson, J. L. Hennessy ( 成田光彰訳 ), コンピュータの構成と設計 ( 第 3 版, 上下 ), 日経 BP 社, 2006 .
- J. L. Hennessy, D. A. Patterson, Computer Architecture ( 4th Edition ): A Quantitative Approach, Morgan Kaufmann, 2007 .

# A9 オペレーティングシステム

オペレーティングシステムの基本的な概念と機構について説明する。コンピュータの構成および利用形態に応じたオペレーティングシステムの役割ともつべき機能について論じ、実際のオペレーティングシステムでそれらがどのように実現されているかを見る。これによって、オペレーティングシステムの設計上のトレードオフを理解させる。

## 先修ユニット

なし

## 講義項目

- オペレーティングシステムの概要——オペレーティングシステムの機能，設計上の問題，歴史，コンピュータの処理形態とオペレーティングシステム
- 利用者から見たオペレーティングシステム——プログラムの実行管理
- オペレーティングシステムの原理
- プロセスの構造，プロセススケジューリング
- 並行性——プロセス間の相互排除，条件同期，典型的な同期問題，デッドロック
- メモリ管理——物理メモリの管理，仮想メモリの管理
- 入出力デバイスと入出力
- ファイルシステム
- 保護とセキュリティ
- 高信頼化
- リアルタイム処理のためのオペレーティングシステム
- 並列・分散処理のためのオペレーティングシステム
- オペレーティングシステムの構成法——コンピュータシステムの仮想化（仮想マシン）

## 講義計画例

1. オペレーティングシステムの役割と機能，歴史
2. オペレーティングシステムの利用インタフェースとプログラムの実行管理
3. オペレーティングシステムの基本的な仕組みと構成
4. プロセスの構造
5. プロセススケジューリング
6. プロセス間の同期と通信——相互排除と条件同期
7. プロセス間の同期と通信——共有メモリとメッセージパッシング
8. プロセス間の同期と通信——デッドロック，典型的な同期問題
9. 物理メモリ管理，仮想メモリの機構
10. 仮想メモリの管理
11. 入出力デバイスおよび2次記憶の管理と入出力
12. ファイルシステム
13. 保護とセキュリティ，高信頼化



14. リアルタイムシステムのためのオペレーティングシステム，並列・分散処理のためのオペレーティングシステムの機能
15. オペレーティングシステムの構成法と仮想化

## カバーするコアユニット

OS1	オペレーティングシステムの概要	( 1 時間 )
OS2	利用者から見たオペレーティングシステム	( 1 時間 )
OS3	オペレーティングシステムの原理	( 1 時間 )
OS4	プロセスの構造とスケジューリング	( 3 時間 )
OS5	並行性	( 4 時間 )
OS6	メモリ管理	( 4 時間 )
OS8	ファイルシステム	( 2 時間 )
OS9	認証とアクセス制御	( 1 時間 )

## 教科書・参考書

- A. Silberschatz , P. B. Galvin , G. Gagne , Operating System Concepts ( Seventh Edition ) , John Wiley & Sons , 2004 .

# A10 コンピュータネットワーク

このコースは、コンピュータネットワークの構造と機能構成、セキュリティに関わるアルゴリズム、およびコンピュータネットワークを使ったアプリケーションの典型的な例としてのウェブ技術など、コンピュータネットワーク技術について説明する。

## 先修ユニット

- PF1 プログラミングの基本的構成要素
- MR2 文字コード

## 講義項目

- ネットワークコンピューティング入門——ネットワーク化とインターネットの背景と歴史、ネットワークアーキテクチャ、ネットワークコンピューティング分野の個別テーマの概要
- 通信とネットワーク接続——ネットワーク標準および標準化団体、ISO 7層参照モデルの一般論およびTCP/IPにおけるその具体例、回線交換とパケット交換、ストリームとデータグラム、物理層ネットワーク接続の概念、データリンク層の概念、ネットワーク間接続とルーティング、トランスポート層サービス
- ネットワークセキュリティ——暗号の基礎、秘密鍵アルゴリズム、公開鍵アルゴリズム、認証プロトコル、デジタル署名
- クライアントサーバコンピューティングの例としてのウェブ——クライアントサーバ関係の特徴、ウェブ技術、ウェブサーバの特性、ウェブサイト作成およびウェブ管理のためのサポートツール、インターネット情報サーバの開発例、情報やアプリケーションの公開例
- ネットワーク管理——ネットワーク管理上の課題の概要、パスワードおよびアクセス制御機構の使用、ドメインネームとネームサービス、インターネットサービスプロバイダ（ISP）に関わる管理上の課題、セキュリティとファイアウォール、サービス品質の問題
- ワイヤレスおよびモバイルコンピューティング——ワイヤレス標準の歴史、発展、互換性についての概観、ワイヤレスおよびモバイルコンピューティングに固有な問題

## 講義計画例

1. ネットワークコンピューティング入門——ネットワーク化とインターネットの背景と歴史、ネットワークアーキテクチャ
2. 通信とネットワーク接続——ネットワークコンピューティング分野の個別テーマの概要、ネットワーク標準および標準化団体
3. 通信とネットワーク接続——ISO 7層参照モデルの一般論およびTCP/IPにおけるその具体例、回線交換とパケット交換、ストリームとデータグラム
4. 通信とネットワーク接続——物理層ネットワーク接続の概念、データリンク層の概念
5. 通信とネットワーク接続——ネットワーク間接続とルーティング
6. 通信とネットワーク接続——トランスポート層サービス
7. ネットワークセキュリティ——暗号の基礎、秘密鍵アルゴリズム、公開鍵アルゴリズム
8. ネットワークセキュリティ——認証プロトコル、デジタル署名
9. クライアントサーバ関係の特徴、ウェブ技術

10. ウェブサーバとウェブサイトの作成と管理
11. ネットワーク管理上の課題の概要，ドメインネームとネームサービス
12. パスワードおよびアクセス制御機構の使用，セキュリティとファイアウォール
13. インターネットサービスプロバイダ（ISP）に関わる管理上の課題，サービス品質の問題
14. ワイヤレス標準の歴史，発展，互換性についての概観
15. ワイヤレスおよびモバイルコンピューティングに固有な問題

## カバーするコアユニット

NC1	ネットワークコンピューティング入門	( 2 時間 )
NC2	通信とネットワーク接続	( 7 時間 )
NC3	ネットワークセキュリティ	( 2 時間 )
NC4	クライアントサーバコンピューティングの例としてのウェブ	( 3 時間 )

## 教科書・参考書

- A. S. Tanenbaum( 水野忠則ほか訳 ) , コンピュータネットワーク( 第 4 版 ) , 日経 BP 社 , 2003 .
- W. Stallings , Data and Computer Communications ( 8th edition ) , Prentice Hall , 2006 .

# A11 ウェブアプリケーション

この科目は、コンピュータネットワークを使ったアプリケーションの構築に関わる技術について、ウェブ技術を利用した分散アプリケーションを構築することを念頭に置き、また分散処理の基本技術も含めて説明する。

## 先修ユニット

- NC1 ネットワークコンピューティング入門
- NC2 通信とネットワーク接続
- NC3 ネットワークセキュリティ
- OS1 オペレーティングシステムの概要
- OS2 利用者から見たオペレーティングシステム
- OS4 プロセスの構造とスケジューリング
- PF1 プログラミングの基本的構成要素
- MR2 文字コード
- IM1 情報モデルとシステム
- IM2 データベースシステム

## 講義項目

- クライアントサーバコンピューティングの例としてのウェブ——ウェブ技術、ウェブサーバの特性、ウェブサイト作成およびウェブ管理のためのサポートツール、インターネット情報サーバの開発例、情報やアプリケーションの公開例
- 分散アプリケーションの構築——ウェブアプリケーションのためのアプリケーション層プロトコル、ウェブアプリケーション開発技法の基本、データベース駆動のウェブサイト、遠隔手続き呼出し（RPC）、分散オブジェクト、分散アプリケーションでの同期と合意
- 分散アプリケーションの諸問題——分散トランザクション、障害耐性、ミドルウェアの役割、分散アプリケーションにおけるセキュリティの問題、企業内ウェブベースアプリケーション

## 講義計画例

1. HTML, URI, ウェブプロトコル
2. ウェブアプリケーションのためのアプリケーション層プロトコル, ウェブアプリケーション開発技法の基本
3. サーバ側のプログラム, コモン・ゲートウェイ・インタフェース (CGI) プログラム
4. クライアントサイドスクリプト, サーバとクライアントの協調, アプレット
5. アクセス権限の扱い, ファイル管理, サーバの能力
6. 遠隔手続き呼出し (RPC), 分散オブジェクト
7. 分散アプリケーションでの同期と合意
8. 分散トランザクション
9. 障害耐性
10. ミドルウェアの役割
11. データベース駆動のウェブサイト

12. ウェブサイト作成およびウェブ管理のためのサポートツール
13. 企業内ウェブベースアプリケーション，インターネット情報サーバの開発例，情報やアプリケーションの公開例
14. 分散オブジェクトシステムにおけるセキュリティの問題
15. 負荷分散方式，セッション管理

## カバーするコアユニット

NC4 クライアントサーバコンピューティングの例としてのウェブ（3時間）

## 教科書・参考書

- G. Coulouris , J. Dollimore , T. Kindberg , Distributed Systems — Concepts and Design( 4th edition ) , Addison Wesley , 2005 .

# A12 プログラミング言語

プログラミング言語のもつべき機能や特徴について論じ、それらが具体的な言語でどのように実現されているかを見る。これによって、言語の設計におけるトレードオフを理解させ、異なるプログラミングスタイルやパラダイムにも目を向けさせる。このほかに、プログラミング言語処理系の基本的な技法についても論じる。

## 先修ユニット

PF1 プログラミングの基本的構成要素

## 講義項目

- プログラミング言語の概要——プログラミング言語の歴史、プログラミングパラダイム、プログラミング方法論への規模の影響
- 仮想計算機——中間言語
- 言語翻訳入門——インタプリタとコンパイラ、言語翻訳の各フェーズ、言語翻訳における機械依存な部分と機械独立な部分
- 宣言と型——型の概念、宣言モデル、型チェック、ごみ集め
- 抽象化メカニズム——抽象化メカニズムとしての手続き、関数、反復子、引数のメカニズム(値渡しと参照渡し)、起動レコードと記憶管理、型パラメータおよびパラメータ化された型、モジュール
- オブジェクト指向言語——オブジェクト指向設計、カプセル化と情報隠蔽、動作とその実装の分離、クラスとサブクラス、継承(オーバーライド、動的ディスパッチ)、多相性(サブタイプ多相性と継承)、クラス階層、コレクションクラスと反復プロトコル、オブジェクトとメソッドテーブルの内部表現
- 関数型言語、論理型言語
- プログラミング言語の設計——言語設計の一般原則、設計目標、型の体系、データ構造のモデル、制御構造のモデル、抽象化メカニズム

## 講義計画例

1. プログラミング言語の概要、プログラミングパラダイム
2. 仮想計算機
3. 言語処理系——インタプリタ、コンパイラ
4. 言語処理系の構成——字句解析、構文解析、コード生成、最適化
5. 宣言と型——型の概念、宣言モデル
6. 型——型チェック、記憶管理、ごみ集め
7. 抽象化メカニズム——手続き、関数、反復子、引数のメカニズム
8. 抽象化メカニズム——起動レコードと記憶管理、型パラメータ、モジュール
9. オブジェクト指向言語——オブジェクト指向設計、カプセル化と情報隠蔽
10. オブジェクト指向言語——クラスとサブクラス、継承、動的ディスパッチ
11. オブジェクト指向言語——多相性、クラス階層

12. オブジェクト指向言語——コレクションクラスと反復プロトコル，内部表現
13. 関数型言語，論理型言語
14. プログラミング言語の設計——言語設計の一般原則，設計目標，型の体系
15. プログラミング言語の設計——データ構造，制御構造，抽象化メカニズム

## カバーするコアユニット

PL1	プログラミング言語の概要	( 2 時間 )
PL2	仮想計算機	( 1 時間 )
PL3	言語翻訳入門	( 2 時間 )
PL4	宣言と型	( 3 時間 )
PL5	抽象化メカニズム	( 3 時間 )
PL6	オブジェクト指向言語	( 6 時間 )

## 教科書・参考書

- R. Sethi ( 神林靖訳 ) , プログラミング言語の概念と構造 , ピアソン・エデュケーション , 2002 .

# A13 ヒューマンコンピュータインタラクション

ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)の基本原理を学ぶとともに、ユーザインタフェース(UI)の開発、評価の手法を習得する。また簡単なグラフィカル・ユーザインタフェース(GUI)を作成することによって、開発手法および評価の方法を体験する。

## 先修ユニット

なし

## 講義項目

- HCIの基礎——人間に配慮する理由、HCIの背景、人間中心の開発および評価、人間行動モデル、人間の多様性への対応、よい設計とよい設計者の原理、ユーザビリティテスト入門
- 簡単なGUIの構築——GUIの原理、GUIツールキット
- 人間中心のソフトウェア評価——ユーザが参加せずに行う評価、ユーザが参加して行う評価
- 人間中心のソフトウェア開発——アプローチ、特性、およびプロセス、機能性とユーザビリティ、プロトタイピング技法とツール
- GUIの設計——対話のスタイルおよび対話技法の選択、共通ウィジェットのHCI的側面、画面設計のHCI的側面、ヒューマンエラーの扱い、単純な画面設計を超えたもの
- GUIのプログラミング——ユーザインタフェース管理システム(UIMS)、イベント管理とユーザ対話、GUIビルダとUIプログラミング環境

## 講義計画例

1. HCIとは
2. HCIの基本原理と理論
3. ユーザインタフェースの開発プロセス
4. 人間中心のソフトウェア評価——ユーザが参加せずに行う評価の方法
5. 人間中心のソフトウェア評価——ユーザが参加して行う評価の方法
6. GUIに用いられる対話のスタイル
7. GUI以外の対話スタイルと対話のデバイス
8. GUIの設計原理
9. 設計の諸問題——レスポンスタイム、デザインと機能のバランス
10. ユーザマニュアルとオンラインヘルプ
11. UIを作成するためのツール
12. 簡単なGUIの構築——設計
13. 簡単なGUIの構築——ツールを用いたGUIの作成
14. 簡単なGUIの評価——ユーザビリティテスト
15. HCIの最新動向と今後の展望



## カバーするコアユニット

HC1 ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎 (6 時間)

HC2 簡単なグラフィカル・ユーザインタフェースの構築 (2 時間)

## 教科書・参考書

- B. Shneiderman , C. Plaisant , Designing the User Interface ( 4th edition ) , Addison Wesley , 2004 .

# A14 マルチメディア表現論

この科目では、デジタルメディアがコンピュータ上でどのように表現されているかについて学ぶことを中心に、人間が表現の対象となるメディアをどのように作り上げてきたかを学ぶ。表現されたメディアは他者に理解されることによって初めて意味をもつ。情報の発信者の意図が、受信者の側でどのように解釈されるかにコミュニケーションは依存する。意図の伝達という部分に、デザインするということの記号認識的な基礎があり、情報はどのように表現されるべきか、デザインされるべきか、および伝達の際にはどのようなメディアを選び、そのメディアに最適に表現されるべきかが、この科目のテーマになっている。マルチメディアという意味から、コンピュータ上の表現の基本となっている2進数から始まり、数や文字から画像、音声、音楽、3次元モデル、そして映像までのデジタルメディアを巡回していき、最後にそれらを組み合わせた統合的な表現方法まで学んでいく。

## 先修ユニット

- DS1 関数，関係，集合
- DS2 論理
- AR2 データのマシンレベルでの表現
- AR5 インタフェースと通信
- HC1 ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎

## 講義項目

- 情報のデジタル表現——意味内容の記号化と解釈，符号化と復号，アナログ表現とデジタル表現
- 文字コード——文字の字形と符号化および文字コード，フォントとの関連付け，文字コードの国際規格
- 標本化，量子化，圧縮の原理とアルゴリズム——標本化，量子化，圧縮，画像，音声，映像の標本化と量子化，符号化と復号のアルゴリズム，データ圧縮のアルゴリズム，コーデック (Codec) とプロファイル
- マルチメディア機器——記録，編集，交換，配信用のフォーマット
- オーサリング——情報の提示方法の分類と論理構造，表音文字，表意文字，表語文字，メディアの提示方法に対応したメディアの加工と品質，マルチメディアシステムでのユーザインタフェース，情報提示における心理や知覚を考慮したデザイン，文化や理解を考慮した設計，多様なメディアの選択と統合化

## 講義計画例

1. 情報理論，情報の符号化と復号
2. 表現の文化と歴史，意味の記号化と解釈，意味理解
3. 数の表現方法と演算
4. 通信の表現の歴史，文字コード
5. 日本の文字コード (JIS, Shift-JIS, EUC) とその変遷
6. 国際的な文字コード (ISO 規定の文字コード，欧州の文字コード，Unicode)
7. 画像の表現方法 (ラスタ画像，ベクトル画像)

8. ベクトル画像における変換とラスターライズ，フォント
9. 色の表現方法
10. 画像の人間による知覚，心理的な認識，レイアウト
11. 標本化，量子化，データサイズ，データの圧縮
12. 音声の表現方法，音楽の表現方法
13. 3次元モデルの表現方法と投影変換
14. 映像の表現方法，マルチメディアによる表現の統合
15. マルチメディア情報の配信とコーデック，メディアの品質

## カバーするコアユニット

MR1 情報のデジタル表現 (2時間)

MR2 文字コード (1時間)

## 教科書・参考書

- ビジュアル情報表現 — デジタル映像表現・Webデザイン入門，画像情報教育振興協会，2006．
- 市川忠雄，シャノン・ノイマン・デジタル世界，森北出版，2005．
- 加藤弘一，図解雑学文字コード，ナツメ社，2002．
- 松田行正，眼の冒険 — デザインの道具箱，紀伊国屋書店，2005．
- 大井義雄，川崎秀昭，色彩（改訂増補版），日本色研事業，2007．
- カラーコーディネーション（第2版），東京商工会議所，2001．

# A15 コンピュータ・グラフィックス

この科目は、コンピュータ上のグラフィックスの諸記述について数学的な基礎を与え、効果的な実現を目的とする。特に2次元のベクトル表現やそのアフィン変換などを扱い、その上で3次元のアフィン変換や投影変換などを扱う。ポリゴンを基本とするモデリングを扱うとともに、多項式曲線や曲面によるモデリングについても取り扱い、それらがどのように変形、加工できるのかについて説明を行う。モデルは最終的には2次元画像へとレンダリングされるので、隠線消去や隠面消去に始まり、シェーディングの技術、フォトリリスティックな技術、空間の照明光の計算を含む技術まで扱う。また、レンダリングの際にモデルに対して適用されるマッピングや光の表面反射、透過、屈折などの計算についても扱っていく。静止画像の時間方向の離散的なレンダリングとしてのアニメーションの各手法についても扱う。最後にラスタ画像について描画方法や加工処理を扱う。

## 先修ユニット

線形代数(ベクトル, 行列)

AL1 アルゴリズムの解析の基礎

AL2 アルゴリズム設計手法

AL3 基本アルゴリズム

AR2 データのマシンレベルでの表現

HC1 ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎

HC2 簡単なグラフィカル・ユーザインタフェースの構築

MR1 情報のデジタル表現

## 講義項目

- グラフィックスにおける基礎技術——グラフィックス・ソフトウェアの階層, 単純なカラーモデル, 座標系, 同次座標と座標変換, アフィン変換, 投影法と投影変換, ビューとクリッピング
- グラフィック・システム——ラスタおよびベクトル表現と各画像フォーマット, グラフィックス用のデバイス, 3次元モデル記述フォーマット, グラフィックス用のハードウェア, ソフトウェアの進化と対応
- 2次元画像の生成と加工——ラスタ画像の生成と描画, 画素ごとの濃淡変換と色変換, 空間フィルタリング
- モデリング——3次元物体の表現方法, 曲線や曲面の表現形式, 空間の細分割技術とボクセル, フラクタル, メタボール, パーティクルなどの手続きモデル, 変形可能モデル, デフォーム, ポリゴン曲面の表現とその変形
- レンダリング——ワイヤフレームと隠線消去, 隠面消去の手法, フォトリリスティック・レンダリング, ポリゴン面のシェーディングとシャドウイング, マッピング, レイ・トレーシング, 大域照明モデル
- コンピュータ・アニメーション——キーフレーム・アニメーション, モーション・キャプチャ, リアルタイム・アニメーション

## 講義計画例

1. コンピュータ・グラフィックスのハードウェア, ソフトウェア

2. 座標系，同次座標と座標変換
3. アフィン変換
4. 投影変換，クリッピング
5. 形状モデリング
6. 多項式曲線（ベジェ曲線，B スプライン曲線）
7. 有理曲線，有理曲面
8. 複雑な形状のモデリング
9. レンダリング（隠面消去，スキャンライン，レイ・トレーシング）
10. シェーディング，シャドウイング
11. 大域照明モデル
12. マッピング
13. アニメーション
14. ラスタ画像の描画アルゴリズム
15. ラスタ画像の加工処理

## カバーするコアユニット

- GV1 グラフィックスにおける基礎技術（2 時間）  
GV2 グラフィック・システム（1 時間）

## 教科書・参考書

- コンピュータグラフィックス，画像情報教育振興協会，2006．
- デジタル画像処理，画像情報教育振興協会，2006．
- J. D. Foley，A. van Dam，S. K. Feiner，J. F. Hughes（佐藤義雄監訳），コンピュータグラフィックス理論と実践，オーム社，2001．

# A16 人工知能（インテリジェントシステム）

この科目のねらいは、学生に人工知能（AI）の基本的概念および技術を紹介することにある。インテリジェントシステム技術の基本原則を理解し、問題解決と機械学習を中心とした制御機構を効果的に利用できることが重要である。

## 先修ユニット

- DS1 関数，関係，集合
- DS2 論理
- DS4 証明技法
- AL1 アルゴリズムの解析の基礎
- PF3 基本データ構造

## 講義項目

- インテリジェントシステムの基本的問題——人工知能の役割と目的，問題空間と探索，知識表現と推論，人工知能分野の応用
- 探索および制約充足——問題空間，力づく探索，最良優先探索，2 プレーヤゲーム（ミニマックス法， - 枝刈り），制約充足（バックトラック法および局所探索法）
- 知識表現および推論——命題論理および述語論理の復習，導出原理と定理証明
- エージェント——エージェントの役割と機能，エージェントアーキテクチャ，ソフトウェアエージェント，個人支援，情報アクセス（協調エージェント，情報収集エージェント），マルチエージェントシステム
- 自然言語処理——構文解析アルゴリズム，コーパスに基づく手法，情報検索，言語翻訳，音声認識
- 機械学習とニューラルネット——機械学習の役割と機能，教師あり学習，ニューラルネット学習，過学習問題，教師なし学習，強化学習
- AI プランニングシステム——プランニングシステムの役割と機能，プランニングシステムの拡張，プランニングとロボット工学

## 講義計画例

1. インテリジェントシステムの基本的問題——人工知能の役割と目的，問題空間と探索
2. インテリジェントシステムの基礎——知識表現と推論，人工知能分野の応用
3. 問題空間と探索——問題空間，力づく探索（幅優先探索，深さ優先探索，反復深化による深さ優先探索）
4. 様々な探索——最良優先探索，2 プレーヤゲーム（ミニマックス法， - 枝刈り）
5. 探索と充足制約——制約充足（バックトラック法および局所探索法）
6. 知識表現および推論——命題論理および述語論理の復習，導出原理と定理証明
7. エージェント——エージェントの定義，エージェントアーキテクチャ，ソフトウェアエージェント，個人支援，情報アクセス，マルチエージェントシステム
8. 自然言語処理——構文解析アルゴリズム，コーパスに基づく手法
9. 自然言語と情報検索——形態素解析

10. 機械学習の基礎——機械学習の役割と機能，教師あり学習（決定木と SVM）
11. 機械学習の問題——ニューラルネット学習，過学習問題
12. 機械学習の発展——教師なし学習（強化学習）
13. AI プラニングシステム——プラニングシステムの定義，探索，操作，命題プラニング
14. プラニングとロボット工学——プラニング応用例
15. 研究動向と今後の展望

## カバーするコアユニット

- IS1 インテリジェントシステムの基本的問題（3 時間）  
IS2 探索および制約充足（2 時間）

## 教科書・参考書

- 馬場口登，山田誠二，人工知能の基礎，昭晃堂，1999 .
- 白井良明，人工知能の理論（増補），コロナ社，2001 .
- S. Russell , P. Norvig , Artificial Intelligence: A Modern Approach ( 2nd edition ) , Prentice Hall , 2003 .
- S. Russell , P. Norvig ( 古川康一監訳 ) , エージェントアプローチ人工知能，共立出版，1997 .

## A17 情報管理（データベース）

この科目のねらいは、単純かつ自然な概念的枠組みを用いて、複雑な情報をどのようにして最もうまく管理するか、また検索の容易性を保ちながらどのようにして情報を格納するか決定を下すことにある。すべての情報システムは多かれ少なかれデータベース技術に依存している。データベース技術の基本原則を理解し、情報管理に関する制御機構を効果的に運用できることが重要である。

### 先修ユニット

- DS1 関数，関係，集合
- DS2 論理
- DS4 証明技法
- AL1 アルゴリズムの解析の基礎
- PF3 基本データ構造

### 講義項目

- 情報モデルとシステム——情報の役割と機能，情報システムの歴史および動機づけ，情報格納と情報検索，情報管理の応用，情報の獲得と表現，分析と索引付け，探索，検索，関連，ナビゲーション，情報機密性，整合性，安全性，保持，拡張性，効率，有効性
- データベースシステム——データベースシステムの歴史および動機づけ，データベースシステムの構成要素と機能，データベースアーキテクチャとデータ独立，データベース問い合わせ言語の利用
- データモデリング——データモデリング，概念モデル，オブジェクト指向モデル，関係データモデル
- 関係データベース——関係スキーマへの概念スキーマの変換，実体整合性制約，参照整合性，キー制約，関係代数と関係論理
- データベース問い合わせ言語——データベース問い合わせ言語の概観，SQL，問い合わせ処理の最適化，非手続き的問い合わせの手続き型言語への埋込み
- 関係データベース設計——データベース設計，関数従属性と正規形
- トランザクション処理——トランザクション，障害と回復，同時実行制御
- データベースの物理設計——記憶域およびファイル構造，索引ファイル，ハッシュファイル，シグニチャファイル，B木，稠密索引ファイル，可変長レコードのファイル，データベースの効率とチューニング
- ハイパーテキストとハイパーメディア——ハイパーテキストモデル，ブラウジング，ナビゲーション

### 講義計画例

1. 情報モデルとデータベース——情報システムの歴史および動機づけ，データベースの必要性
2. データベースシステム——データ独立，データベースシステムの構成，データベース問い合わせ言語の利用
3. データモデルの役割と機能——データモデリングと概念モデル
4. データモデリングの実際——実体関連モデルと関係データモデル



5. 関係データベース——概念スキーマの関係スキーマへの変換
6. 関係データベースとデータ操作——データベース問い合わせ言語の概要
7. データベース問い合わせ言語——関係代数および関係論理
8. データベース問い合わせ言語 SQL——SQL, 非手続き的問い合わせの手続き型言語への埋込み
9. 関係データベース設計——データベース設計, 関数従属性と正規形
10. トランザクション処理の基礎——トランザクションと ACID 概念
11. トランザクション処理の障害回復——障害と回復
12. データベースの物理設計——記憶域およびファイル構造
13. データベース操作の効率とチューニング
14. ハイパーテキストとハイパーメディア——ハイパーテキストモデル, ブラウジング, ナビゲーション
15. データベースシステムの動向と今後の展望

## カバーするコアユニット

IM1	情報モデルとシステム	( 2 時間 )
IM2	データベースシステム	( 2 時間 )
IM3	データモデリング	( 4 時間 )
IM4	関係データベース	( 3 時間 )
IM5	データベース問い合わせ言語	( 3 時間 )

## 教科書・参考書

- J. D. Ullman , J. Widom , A First Course in Database Systems( 3rd edition ) , Prentice Hall , 2007 .
- 増永良文 , データベース入門 , サイエンス社 , 2006 .
- 北川博之 , データベースシステム , 昭晃堂 , 1996 .
- R. Ramakrishnan , J. Gehrke , Database Management Systems( 3rd edition ) , McGraw-Hill , 2002 .
- H. Garcia-Molina , J. D. Ullman , J. Widom , Database Systems: The Complete Book ( 2nd edition ) , Prentice Hall , 2008 .
- R. Elmasri , S. Navathe , Fundamentals of Database Systems( 5th edition ) , Addison-Wesley , 2006 .
- A. Silberschatz , H. F. Korth , S. Sudarshan , Database System Concepts ( 5th edition ) , McGraw-Hill , 2005 .

# A18 社会における情報技術

この科目では、社会の視点に立って、コンピュータや通信の技術とその産業がもつ意味と価値を考える。カバーする範囲は歴史、倫理、知的財産権、セキュリティ、プライバシー、産業と幅広いが、それらを通して情報技術者・研究者がもつべき社会的視野を形成するベースを作ることが目標である。

## 先修ユニット

なし

## 講義項目

- コンピュータの歴史——コンピュータのハードウェア、ソフトウェア、ネットワーク化の歴史
- 社会におけるコンピュータ——情報技術、ネットワーク技術の社会的意味、インターネットの成長と制御可能性、インターネットへのアクセス権、情報格差
- 専門家としての倫理的責任——情報倫理と情報関連法、専門家の資格認定、公共政策における専門家の役割、組織の内部統制と内部告発、情報技術専門家団体の倫理綱領、ハラスメントと差別への対応
- 知的財産権——知的財産権の基礎、著作権、特許権、企業秘密、ソフトウェア著作権侵害、ソフトウェア特許、知的財産権に関する国際問題
- プライバシーと市民的自由——プライバシー保護の倫理と法、大規模データベースシステムにおけるプライバシーの意味、プライバシー保護のための技術戦略、サイバースペースにおける表現の自由、国家間、異文化間でのプライバシーと表現の自由に関する差異

## 講義計画例

1. 情報技術の歴史——情報技術発展の歴史、コンピュータの発明に貢献したパイオニアたち、ハードウェアの飛躍的高性能化、ソフトウェア技術の発展
2. 社会における情報システムの実際——多様な情報システムの実際（企業や官庁などのビジネスシステム、金融システム、生産管理システム、Web サービスシステム、組込みシステム、ゲームなど）
3. 情報技術の社会的インパクト——インターネットと情報技術がもたらす社会へのインパクト、その正と負の側面、情報格差と経済格差
4. 一般人のための情報倫理——日常生活における情報倫理、必要な教育啓蒙活動、倫理意識と想像力の関係、情報倫理の倫理としての特殊性
5. 専門家組織と職業倫理——学会、協会、職業団体などの活動と倫理綱領、企業の論理と社会的公正、技術開発における事前評価
6. 情報セキュリティ——情報セキュリティ上のリスクと対策、コンピュータ犯罪、ウイルス、ワームの事例
7. プライバシーと表現の自由——プライバシーの保護と表現の自由とのトレードオフ、情報技術がもたらすプライバシー侵害の可能性、個人情報保護法と基本的人権
8. 知的財産権——著作権（プログラムの著作権、データベースの著作権）

9. 知的財産権——特許権（ソフトウェア特許，アルゴリズム特許）
10. 情報産業とそのグローバル化——日本の情報産業の実態，オフショア開発と産業のグローバル化，市場の独占・寡占化傾向
11. インターネット時代の技術とビジネスの革新——Web2.0，MicroSoft と Google，オープンソース，ハッカー文化
12. システム障害がもたらす社会的影響——システム障害の事例，原因と対策
13. 情報政策と法制度——情報産業政策の功罪，情報法の種類と内容
14. 持続可能な社会へ向けての情報技術と産業——持続可能な社会への情報技術の貢献と悪影響
15. まとめと演習——テーマに基づく議論とその文書化

## カバーするコアユニット

- |     |              |          |
|-----|--------------|----------|
| SP1 | コンピュータの歴史    | ( 1 時間 ) |
| SP2 | 社会におけるコンピュータ | ( 2 時間 ) |
| SP4 | 専門家としての倫理的責任 | ( 3 時間 ) |
| SP6 | 知的財産権        | ( 3 時間 ) |
| SP7 | プライバシーと市民的自由 | ( 2 時間 ) |

## 教科書・参考書

- 今野浩，カーマーカー特許とソフトウェア，中公新書，1995．
- 中山信弘，マルチメディアと著作権，岩波新書，1996．
- 水谷雅彦編，応用倫理学講義 3 情報，岩波書店，2005．
- 松井茂記，インターネットの憲法学，岩波書店，2002．
- 梅棹忠夫，情報の文明学，中公文庫，1999．
- 梅田望夫，ウェブ進化論，ちくま新書，2006．

# A19 ソフトウェア工学(1)

本科目は、通年でソフトウェア工学(1)、(2)という形で行うことを想定している。ソフトウェア工学の基礎編として位置づけている本科目では、新規開発におけるプログラムの複雑性に対処する方法を学習する。

ソフトウェア工学を学ぶ上では、知識や理論を理解するだけでなく、それを学生が活用できるように指導することが重要である。したがって、ソフトウェア工学(1)では、例えばCなどの手続き型プログラミング言語を使った小規模のプログラムを、学生が一人、または少人数で開発する演習授業と並行して開講することが推奨される。個人の開発計画を立案し、それを実施し、計画と実際の違いを体験することで、プロジェクト計画の重要性と難しさも学ぶことができる。このような体験は、ソフトウェア工学(2)を学ぶためにも重要となる。

## 先修ユニット

- PF1 プログラミングの基本的構成要素
- PF2 アルゴリズムと問題解決
- PF3 基本データ構造

## 講義項目

- ソフトウェア設計——基本的な設計概念および原理、構造化設計
- ソフトウェアツールおよび環境——プログラミング環境、要求分析および設計のためのモデリングツール、テストツール
- ソフトウェアプロセス——ソフトウェアライフサイクルとプロセスモデル、プロセス評価モデル
- ソフトウェア要求と仕様——ステークホルダ分析と要求獲得、要求分析モデリング技法、機能要求と非機能要求、プロトタイピング
- ソフトウェア妥当性検査——妥当性検査、検証、妥当性検査計画、テスト基本事項、ブラックボックステスト、ホワイトボックステスト、単体テスト、統合テスト、システムテスト、インスペクション
- ソフトウェアの進化——ソフトウェアの保守、保全性のあるソフトウェアの特徴
- ソフトウェアプロジェクト管理——コーディング規約、プロセス管理

## 講義計画例

1. ソフトウェアのライフサイクルとプロセスモデル——ウォーターフォールモデル、インクリメンタルモデル、統一プロセス、アジャイル開発
2. 個人のプロセス管理——コーディング規約、プロセス管理、プロセス評価モデル
3. プロトタイプを用いる要求獲得と要求分析——ステークホルダ分析と要求獲得、プロトタイピング
4. 要求種別と様々な要求分析ツール——機能要求と非機能要求、要求分析モデリング技法、要求分析のためのモデリングツール
5. 品質を上げるための要求分析——シナリオ分析、ユースケースモデル、ミスユースケース
6. 要求仕様書の書き方——IEEE 規格 830

7. テスト計画とテストデータの作成——妥当性検査と検証の違い，妥当性検査計画，テスト基本事項，テストツール
8. 基本的な設計概念および原理——構造化プログラミング，プログラムの複雑度
9. 構造化分析と構造化設計——構造化設計，設計のためのモデリングツール
10. プログラミングとツール——プログラミング環境
11. レビューとインスペクション——レビュー，インスペクション
12. テスト技術——ブラックボックステスト，ホワイトボックステスト
13. テストの実施——妥当性検査，単体テスト，統合テスト，システムテスト
14. ソフトウェアの進化——ソフトウェアの保守，保全性のあるソフトウェアの特徴
15. ソフトウェア開発プロジェクトにおけるソフトウェア工学の貢献と課題

## カバーするコアユニット

SE1	ソフトウェア設計	( 2 時間 / 8 時間 )
SE3	ソフトウェアツールおよび環境	( 2 時間 / 3 時間 )
SE4	ソフトウェアプロセス	( 1 時間 / 2 時間 )
SE5	ソフトウェア要求および仕様	( 4 時間 / 5 時間 )
SE6	ソフトウェア妥当性検査	( 2 時間 / 3 時間 )
SE7	ソフトウェアの進化	( 2 時間 / 3 時間 )
SE8	ソフトウェアプロジェクト管理	( 1 時間 / 3 時間 )

## 教科書・参考書

- 玉井哲雄，ソフトウェア工学の基礎，岩波書店，2004 .
- S. L. Pfleeger , J. M. Atlee , Software Engineering: Theory and Practice ( 3rd edition ) , Prentice Hall , 2005 .
- S. L. Pfleeger ( 堀内泰輔訳 ) , ソフトウェア工学 — 理論と実践 , ピアソンエデュケーション , 2001 .
- 大西淳 , 郷健太郎 , 要求工学 , 共立出版 , 2002 .

## A20 ソフトウェア工学(2)

本科目は、通年でソフトウェア工学(1)、(2)という形で行うことを想定している。ソフトウェア工学の応用編として位置づけている本科目では、特に21世紀のソフトウェア開発では重要となる既存の部品を組み合わせた開発と、拡張性、再利用性に配慮した開発で生ずる様々な問題に対処する方法を学ぶ。

本科目では、Javaなどのオブジェクト指向プログラミング言語を使う中規模のプログラムを、少人数のグループで開発する演習授業と並行して開講されることが推奨される。また、学生がソフトウェア工学(1)で学んだ知識や理論を繰り返し活用できるように、その機会を与える必要がある。例えば、部品を組み合わせた開発でも、構造化設計の考え方は必要となる。さらに、ソフトウェア工学(2)では、ソフトウェア工学(1)で学んだ個人によるプロジェクト管理を発展させ、チームによるプロジェクト管理の技術を学ぶ。そのため、本科目を進める上では、随時、ソフトウェア工学(1)の復習を行ってほしい。レビューとインスペクションを演習の早い段階で学生が自ら進んで行えるように指導することで、ソフトウェア工学の技術の有効性もより深く理解し、実践できるようになるであろう。

### 先修ユニット

- PF1 プログラミングの基本的構成要素
- PF2 アルゴリズムと問題解決
- PF3 基本データ構造
- PF4 再帰
- PF5 イベント駆動プログラミング
- PL5 抽象化メカニズム
- PL6 オブジェクト指向言語
- IM1 情報モデルとシステム
- IM3 データモデリング

### 講義項目

- ソフトウェア設計——オブジェクト指向分析および設計、ソフトウェアアーキテクチャ、設計パターン、コンポーネントレベルの設計、リファクタリングおよび再利用のための設計
- APIの使用——APIプログラミング、クラスブラウザおよび関連のツール、例によるプログラミング、API環境におけるデバッグ、コンポーネントベース開発入門
- ソフトウェアツールおよび環境——要求分析および設計のためのモデリングツール、構成管理ツール、ツール統合メカニズム
- ソフトウェアプロセス——ソフトウェアプロセス計量尺度
- ソフトウェア要求および仕様——形式仕様技法の基礎的な概念
- ソフトウェア妥当性検査——オブジェクト指向テスト
- ソフトウェアの進化——リエンジニアリング(回帰テスト、リリース管理)、レガシーシステム
- ソフトウェアプロジェクト管理——チーム管理、プロジェクト計画、ソフトウェア計測および見積り技術、リスクの分析、ソフトウェア品質保証、ソフトウェア構成管理、プロジェクト管理ツール

## 講義計画例

1. プロジェクトチームの管理とプロセスの管理——チーム管理，プロジェクト計画，プロジェクト管理ツール
2. ソフトウェア管理——ソフトウェア構成管理，構成管理ツール
3. オブジェクト指向分析および設計 (1)——UML ( クラス図，オブジェクト図 )，要求分析および設計のためのモデリングツール
4. オブジェクト指向分析および設計 (2)——UML ( シーケンス図，状態図 )
5. ソフトウェアの計測と品質評価——リスクの分析，ソフトウェア品質保証
6. ソフトウェアの見積り——ソフトウェア計測および見積り技術，ソフトウェアプロセス計量尺度
7. 形式仕様技法——形式仕様技法の基礎的な概念，契約による設計
8. ソフトウェアアーキテクチャ
9. コンポーネントベース開発入門
10. コンポーネントレベルの設計
11. 例によるプログラミング
12. プログラミングとツール——クラスブラウザおよび関連のツール，APIプログラミング，API環境におけるデバッグ，オブジェクト指向テスト，ツール統合メカニズム
13. ソフトウェアの再設計——設計パターン，リファクタリングおよび再利用のための設計
14. リエンジニアリング——レガシーシステム，リエンジニアリング，回帰テスト，リリース管理
15. ソフトウェア工学の動向と今後の展望

## カバーするコアユニット

SE1	ソフトウェア設計	( 6 時間 / 8 時間 )
SE2	API の使用	( 5 時間 )
SE3	ソフトウェアツールおよび環境	( 1 時間 / 3 時間 )
SE4	ソフトウェアプロセス	( 1 時間 / 2 時間 )
SE5	ソフトウェア要求および仕様	( 1 時間 / 5 時間 )
SE6	ソフトウェア妥当性検査	( 1 時間 / 3 時間 )
SE7	ソフトウェアの進化	( 1 時間 / 3 時間 )
SE8	ソフトウェアプロジェクト管理	( 2 時間 / 3 時間 )

## 教科書・参考書

- 玉井哲雄，ソフトウェア工学の基礎，岩波書店，2004 .
- S. L. Pfleeger , J. M. Atlee , Software Engineering: Theory and Practice ( 3rd edition ) , Prentice Hall , 2005 .
- S. L. Pfleeger ( 堀内泰輔訳 ) , ソフトウェア工学 — 理論と実践 , ピアソンエデュケーション , 2001 .
- M. Fowler ( 羽生田栄一訳 ) , UML モデリングのエッセンス ( 第 3 版 ) , 翔泳社 , 2005 .
- M. Fowler ( 児玉公信ほか訳 ) , リファクタリング , ピアソンエデュケーション , 2000 .
- E. Gamma , R. Johnson , R. Helm , J. Vlissides ( 本位田真一ほか訳 ) , オブジェクト指向における再利用のためのデザインパターン ( 改訂版 ) , ソフトバンク , 1999 .

# A21 数値計算

初めに、浮動小数点数の基本的な性格を示し、続いていくつかの基本的な数値計算アルゴリズムについて述べる。オペレーションズリサーチやシミュレーションなど、数値計算の応用分野として重要なものもいくつか取り上げるが、詳細には立ち入らない。

## 先修ユニット

なし

## 講義項目

- 数値解析——浮動小数点演算，誤差，安定性，収束
- 数値計算法——テイラー級数，求解のための逐次的解法（ニュートン法），曲線の当てはめ，関数近似，数値微分と数値積分（シンプソン則），微分方程式，線形代数，行列計算，連立方程式の解法，差分法，高速フーリエ変換（FFT）
- オペレーションズリサーチ——線形計画法，整数計画法，シンプレックス法，確率的モデリング，待ち行列理論，最適化
- モデリングとシミュレーション——乱数，擬似乱数生成とテスト，モンテカルロ法，シミュレーション，離散イベントシミュレーション，連続シミュレーション，待ち行列モデル

## 講義計画例

1. 浮動小数点演算，誤差，安定性，収束
2. 数値解析，誤差の評価
3. テイラー級数
4. 求解のための逐次的解法（ニュートン法）
5. 曲線の当てはめ，関数近似，補間
6. 数値微分と数値積分（シンプソン則）
7. 微分方程式
8. 線形代数
9. 行列計算
10. 連立方程式の解法
11. 差分法，高速フーリエ変換（FFT）
12. 線形計画法，整数計画法，シンプレックス法
13. 最適化
14. 乱数，擬似乱数生成とテスト，モンテカルロ法
15. シミュレーション，待ち行列モデル

## カバーするコアユニット

なし



## 教科書・参考書

- 伊理正夫，藤野和建，数値計算の常識，共立出版，1985．

# B1 コンピュータ科学入門

コンピュータ科学を概観する。コンピュータ科学の知識体系をなす各領域の入門部分から構成する。コンピュータ科学を通じての基本的な考え方を理解することができる。これら各領域をどのような配分で取り上げるかについては、理論的な方面を重視する、あるいは社会での実際の応用を重視する等、重点をどこに置くかについて様々の考え方がある。またこれらの材料をどのような順序でまとめて一つのコースとするかについてもいろいろの方法がある。以下は一つの例である。

## 先修ユニット

なし

## 講義項目

- 情報システム，ソフトウェア，仕様
- 情報ネットワーク，インターネット，パケット通信，安全性
- 携帯電話，コンピュータネットワーク
- プログラム，構造化プログラミング，逐次，条件分岐，繰返し，引数
- アルゴリズム，実行効率，データ構造
- 線形探索，二分探索，整列
- プログラミング言語，アセンブリ言語，高級言語
- 形式言語，文脈自由文法，数式
- コンピュータアーキテクチャ
- 命題論理，組合せ論理回路，順序回路
- チューリング機械，計算可能性
- アナログ情報，デジタル情報，情報量，符号化
- 知的財産権，著作権，特許権，商標権
- 情報倫理，技術者倫理

## 講義計画例

1. コンピュータの発展，情報社会とコンピュータ科学
2. 情報システムとその構築
3. 情報ネットワーク
4. ヒューマンコンピュータインタラクション
5. 構造化プログラミング
6. アルゴリズムの効率とデータ構造
7. プログラミング言語の歴史
8. 言語理論，スタック，コンパイラ
9. データ抽象化，データベース
10. オペレーティングシステムの機能
11. コンピュータアーキテクチャ
12. 命題論理と組合せ論理回路，順序回路

13. チューリング機械と計算可能性
14. アナログ情報とデジタル情報，情報量と符号化
15. 知的財産権，情報倫理と技術者倫理

## カバーするコアユニット

DS7	計算論概論	( 1 時間 / 4 時間 )
PF1	プログラミングの基本的構成要素	( 1 時間 / 9 時間 )
PF2	アルゴリズムと問題解決	( 1 時間 / 6 時間 )
AL1	アルゴリズムの解析の基礎	( 4 時間 )
AR1	論理回路と論理システム	( 1 時間 / 6 時間 )
OS1	オペレーティングシステムの概要	( 1 時間 )
NC1	ネットワークコンピューティング入門	( 1 時間 / 2 時間 )
PL1	プログラミング言語の概要	( 1 時間 / 2 時間 )
HC1	ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎	( 1 時間 / 6 時間 )
IM1	情報モデルとシステム	( 1 時間 / 2 時間 )
SP1	コンピュータの歴史	( 1 時間 )
SP2	社会におけるコンピュータ	( 1 時間 / 2 時間 )

## 教科書・参考書

- 小野厚夫，川口正昭，情報科学概論（補訂版），培風館，1983．
- 奈良久，武井恵雄，情報処理の基礎，共立出版，1989．
- A. W. Biermann（和田英一監訳），やさしいコンピュータ科学，アスキー，1993．
- 綾皓二郎，藤井亀，コンピュータとは何だろうか（第3版），森北出版，2006．
- 川合慧，コンピューティング科学，東京大学出版会，1995．

## B2 メディア・インタラクション

この科目は、コンピュータ上での情報表現やマルチメディア表現、あるいはグラフィックスによるコンピュータとユーザとのインタラクションについて考察する入門的な科目である。情報理論を中心にマルチメディア表現での中核となる技術や、その実現のために用いられるコンピュータ・グラフィックスの手法、そして、それが人間にどのように認知され、どのように人間が反応するかについて学ぶ。

### 先修ユニット

なし

### 講義項目

- ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎——人間行動モデル，人間の多様性への対応
- 簡単なグラフィカル・ユーザインタフェースの構築——グラフィカル・ユーザインタフェース（GUI）の原理
- グラフィックスにおける基礎技術——グラフィックス・ソフトウェアの階層，単純なカラーモデル，座標系，同次座標と座標変換，投影法と投影変換
- グラフィック・システム——ラスタおよびベクトル表現と各画像フォーマット，グラフィックス用のデバイス，グラフィックス用のハードウェア，ソフトウェアの進化と対応
- 情報のデジタル表現——アナログ表現およびデジタル表現，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
- 文字コード——文字の字形と符号化および文字コード，フォントとの関連付け，文字コードの国際規格
- マルチメディア機器

### 講義計画例

1. 情報コミュニケーションのモデル（記号化と意味解釈，符号化と復号）
2. 人間とコンピュータのインタラクション
3. 画像の認識（形の知覚と心理的認識，色の知覚と心理的認識）
4. レイアウト，音声や動きの認識
5. 人間の行動モデルと人間の多様性への対応
6. インタラクションにおけるスタイルと提示される情報量
7. 数の表現と歴史， $n$ 進数（2,8,10,12,16,20,60,360進数）
8. 文字コードと国際化の中での文字（ASCII，JIS，Unicode）
9. ラスタ画像の表現方法（標本化，量子化，圧縮，データサイズ）
10. ベクトル画像の表現方法と変換
11. 3次元モデルの表現方法と投影変換
12. 音声や映像の表現方法（ビデオの解像度，フレームレート）
13. ストリーミングとコーデック，データの転送率
14. メディア機器の繋ぎ方（プラグ）

## 15. GUI制作,マルチメディア表現のためのツール

### カバーするコアユニット

HC1	ヒューマンコンピュータインタラクションの基礎	( 6 時間 )
HC2	簡単なグラフィカル・ユーザインタフェースの構築	( 2 時間 )
GV1	グラフィックスにおける基礎技術	( 2 時間 )
GV2	グラフィック・システム	( 1 時間 )
MR1	情報のデジタル表現	( 2 時間 )
MR2	文字コード	( 1 時間 )

### 教科書・参考書

- ビジュアル情報表現 — デジタル映像表現・Webデザイン入門,画像情報教育振興協会,2006 .
- D. A. Norman( 野島久雄訳 ), 誰のためのデザイン?認知科学者のデザイン原論,新曜社,1990 .
- Robin Williams( 吉川典秀訳 ), ノンデザイナーズ・デザインブック( 第2版 ), 毎日コミュニケーションズ, 2004 .
- B. Shneiderman , C. Plaisant , Designing the User Interface( 4th edition ) , Addison Wesley , 2004 .

## B3 データマイニング

この科目のねらいは、大容量データからの知識発見を行うための理論や技術を学ぶことにある。データベースシステムはこのようなデータを提供する機構として優れた機能を有し、データに潜む興味ある有用なパターンの抽出のために、効率的で拡張性に富む機能を提供する。一方、抽出機能は、知識表現・推論、クラスタリング、機械学習等のインテリジェントシステムの基本機能と深く関連している。これらの基本原理を理解し、情報管理とインテリジェントシステムの両分野に関する横断的な理解と融合を学ぶことが重要である。この科目によりインテリジェントシステム (IS) を代替することができる。

### 先修ユニット

- DS1 関数，関係，集合
- DS2 論理
- DS4 証明技法
- AL1 アルゴリズムの解析の基礎
- PF3 基本データ構造

### 講義項目

- 情報モデルとシステム——情報の役割と機能，情報システムの歴史および動機づけ，情報格納と情報検索，情報管理の応用，情報の獲得と表現，分析と索引付け，探索，検索，関連，ナビゲーション，情報機密性，整合性，安全性，保持，拡張性，効率，有効性
- データベースシステム——データベースシステムの歴史および動機づけ，データベースシステムの構成要素と機能，データベースアーキテクチャとデータ独立，データベース問合わせ言語の利用
- データモデリング——データモデリング，概念モデル，関係データモデル
- データベース問合わせ言語——データベース問合わせ言語の概観，SQL，問合わせ処理の最適化，非手続き的問合わせの手続き型言語への埋込み
- インテリジェントシステムの基礎——人工知能の役割と目的，問題空間と探索，知識表現と推論，人工知能分野の応用
- 探索および制約充足——問題空間，力づく探索，最良優先探索，2 プレーヤゲーム（ミニマックス法， $\alpha$ - $\beta$  枝刈り），制約充足（バックトラック法および局所探索法）
- データマイニング——データマイニングの有用性，同時パターンおよび順次パターン，データクラスタリング，マーケットバスケット分析と APRIORI，データクリーニング，データ可視化，データマイニングシステム

### 講義計画例

1. データベースとデータマイニング——情報システムの歴史およびデータベースの必要性，データマイニングの有用性
2. データベースシステム——データ独立，データベースシステムの構成と問合わせ言語
3. データモデルの役割と機能——データモデリングと概念モデル，実体関連モデルと関係データモデル

4. データ操作——SQL, 非手続き的問合わせの手続き型言語への埋込み
5. インテリジェントシステムの基本的問題——人工知能の役割と目的, 問題空間と探索
6. インテリジェントシステムの基礎——知識表現と推論, 人工知能分野の応用
7. 問題空間と探索——問題空間, 力づく探索 (幅優先探索, 深さ優先探索, 反復深化による深さ優先探索)
8. 探索アルゴリズムの発展——最良優先探索, 2プレイヤーゲーム (ミニマックス法, 枝刈り), 制約充足 (バックトラック法および局所探索法)
9. 機械学習の原理——機械学習の役割と機能
10. 機械学習の実際——教師あり学習 (決定木と SVM), 過学習問題
11. クラスタリングによる特徴抽出——データクラスタリング
12. データマイニングの原理——同時パターンおよび順次パターン
13. マーケットバスケット分析——APRIORI
14. データマイニングの実際——データクリーニング, データ可視化
15. 研究動向と今後の展望

## カバーするコアユニット

IM1	情報モデルとシステム	( 1 時間 / 2 時間 )
IM2	データベースシステム	( 2 時間 )
IM3	データモデリング	( 2 時間 / 4 時間 )
IM5	データベース問合わせ言語	( 3 時間 )
IS1	インテリジェントシステムの基本的問題	( 3 時間 )
IS2	探索および制約充足	( 2 時間 )

## 教科書・参考書

- J. Han, M. Kamber, Data Mining: Concepts and Techniques ( 2nd edition ), Morgan Kaufmann, 2006 .
- 福田剛志, 森本康彦, 徳山豪, データマイニング, 共立出版, 2001 .