

Fundamentals of Computer Systems

コンピュータシステムの基礎 第16版

本書は、コンピュータシステムの基礎テキストとして好評をいただいた旧版「初級コンピュータシステムの知識」を1994年3月に全面改訂し、現書名「コンピュータシステムの基礎」として刊行したものです。日々刻々と変わるコンピュータおよび情報技術の動向に対応して、これまで改定を重ねてきました。本書の特徴は、コンピュータおよび情報処理技術の発展経緯に即し、今では一部の技術者の方しか関係していない技術についても、動作原理や考え方を重視して、あえて省略しないで丁寧に解説しているところです。例えば、「コンピュータの歴史」、「メインフレームのジョブ管理の解説」、「ファイル編成の解説」など、一部簡略化をしていますが説明を残しています。

今回の第16版は4年ぶりの改訂になり、前版以降の技術進歩（クラウド化、ハードウェア、ネットワーク技術、データベース技術）やセキュリティの重要性の増大に沿って内容全体の見直しを行うとともに、基本情報技術者試験の最近の出題傾向にも適応するように内容を取捨選択しました。新しい内容としては、「マルチコアプロセッサ」、「クラウドコンピューティング」、「仮想化技術」、「ビッグデータ」、「IPv6」などがあり、特にセキュリティの章については、構成から見直して説明を充実させました。

本書の編集方針は大きくいって二つあります。

一つ目は、「情報技術を学ぶ初学者が、抵抗なく、分かりやすく学習できる」ことです。このため、情報技術の中核となるコンピュータシステムを内部から学習するのではなく、学習者の視点で実際に「見える」ところから解説を始め、難しい部分を解きほぐしながら内容を解説していくスタイルをとっています。

二つ目は、「激変する情報技術を、タイムリーに分かりやすく反映させる」ことです。最近のコンピュータ技術の変化は激しく、初めての学習者にとって分かりづらい内容もたくさんあるため、最新の技術については、情報処理技術者試験にまだ出題されていないものでも積極的に記述しました。

今回の第16版では、このように今まで以上に多くの改訂をしました。継続して利用していただいている皆さまは、次に掲げる章ごとの主な改訂概要を参照してください。

- 第1章** 統計データを新しくし、現在、広く定着したクラウドコンピューティングに関して、グリッドコンピューティングと比較しながら基礎的な解説を加えました。ネットワーク技術、IC化技術などの急速な進歩に合わせて章全体の内容を見直しました。
- 第2章** 入出力装置で3Dスキャナと3Dプリンタを追加し、入力装置の概要図を整理しました。製品写真も一部新しくしています。ユーザインタフェースに関して、ユーザビリティとアクセシビリティの説明を追加しました。
- 第3章** 磁気ディスクの説明を図や写真を含めて見直し、現在の製品に合わせて修正しました。フロッピーディスクの説明を簡略化し、ブルーレイディスク、カートリッジテープの説明を詳しくしました。
- 第4章** マルチコアプロセッサの説明を追加しました。入出力インタフェースについて全体の説明を見直し、HDMI、FC（ファイバチャネル）の説明を追加しました。
- 第5章** パソコンOSの記述を一部簡略化し、新しいWindows 8、タブレット端末用OSの記述などを追加しました。クラウドコンピューティングを支える基盤技術として著しい進歩を遂げている仮想化技術（仮想マシン、ストレージ仮想化、クライアント仮想化）について解説を加えました。
- 第6章** ビット演算の一つとして、算術シフト演算と論理シフト演算の説明を追加しました。また、待ち行列理論について難解と思われる部分を削除し、基礎的な内容の理解を重視した説明にしました。
- 第7章** 標準SQL（SQL2003）に合わせて、一部SQL文の例題を見直しました。最近ビジネス分野でも話題になっているビッグデータに関して基礎的な解説を入れ、関連する内容（KVS、NoSQL）にも触れました。
- 第8章** 無線LANのセキュリティ問題、イーサネットで使用されるMACフレームの構成、IPv4アドレスの割当て方法、IPv6アドレス、TCPとUDPとの違い、TCP/IPネットワーク上で使用される様々なアプリケーションプロトコルなどの説明を追加しました。
- 第9章** 現在、非常に重要性が高まっている情報セキュリティに関して、脅威、対策技術要素、具体的解決策、管理手法、標準化・法制度という形で内容を再構成しました。また多様化している攻撃手法や、刑法改正内容に関しても内容を増強しました。
- 第10章** デュプレックスシステムと関連して、コールドスタンバイの解説を加えました。また、クラスタリングシステムの一部として現在のWebシステムでは一般的になっているロードバランサ（負荷分散装置）の解説を加えました。
- 第11章** 開発手法として一般化してきているアジャイルソフトウェア開発について説明を追加しました。また、現在広く普及しているPMBOKに関する説明を追加するとともに、ITILおよび共通フレームの改訂に伴う説明の見直しを行いました。

2013年9月

アイテック教育研究開発部

CHAPTER 1

コミュニケーションネットワークとコンピュータシステム
Communication Networks and Computer Systems 20

CHAPTER 2

入出力装置
Input/Output Devices 104

CHAPTER 3

記憶装置
Storage Devices 152

CHAPTER 4

中央処理装置
The Central Processing Unit (CPU) 198

CHAPTER 5

オペレーティングシステム
Operating Systems 246

CHAPTER 6

情報処理技術の基礎と理論
Theory of Information Processing Technologies..... 318

CHAPTER 7

ファイル編成とデータベース

File Organizations and Database 402

CHAPTER 8

通信ネットワークシステム

Computer Networks and Telecommunications 458

CHAPTER 9

情報セキュリティ

Information Security 532

CHAPTER 10

情報システムと RASIS

Information Systems and RASIS 566

CHAPTER 11

情報システムの開発

Development of Information Systems 602

写真提供 *Photos offered by* 667

用語 *Index* 668

参考文献 *Bibliography* 682

CHAPTER 1

Communication Networks and Computer Systems コミュニケーションネットワークとコンピュータシステム 20

1. Information Society and Communication Networks

情報社会とコミュニケーションネットワーク 22

Characteristic of Information Society
情報社会の特徴 22

Information Technology as Infra-Structure
基盤技術としての情報技術 25

Impacts of Internet
インターネットのインパクト 26

Diversified Computer Applications
多様化するコンピュータの利用 28

Computer Systems in Business Field
企業活動に使われるコンピュータシステム 29

Social Systems
社会システム 35

2. Computer Systems for Communication

コミュニケーションのためのコンピュータ 37

What is Information?
情報とは 37

Concept of Information Processing
情報処理の基本形 38

Concept of Information Systems
情報システムの基本概念 38

Components of an Information System and a Computer System
情報システムとコンピュータシステムの要素 40

Information Processing by Human Beings
人間の情報処理行為 42

Communications by means of Computer Systems
コンピュータを利用したコミュニケーション 42

The Origin of "Jouhou" in Japan
情報という言葉の語源 44

3. Types and Capabilities of Computers

コンピュータの種類と能力 45

Types of Computers
コンピュータの種類 45

Capabilities of Computers
コンピュータの能力 50

4. Components of Communications

コミュニケーションの構成要素 52

How to Make good Communications
コミュニケーションをうまく行うには 52

Conditions for good Communications
コミュニケーションが成り立つ条件 53

Information Technologies and Communications
情報技術とコミュニケーション 54

Functions of Network Systems
ネットワークの機能 55

Components of Communication Systems
コミュニケーションシステムの構成要素 56

5. Components of a Computer System

コンピュータの構成要素 57

Five Major Computer Functions
コンピュータの5大機能 57

Data and Control Flows
データの流れとコントロールの流れ 59

6. Information Systems in Our Society

現代社会における情報システム 60

Information Systems in Business
企業における情報システム 60

Types of Information Systems in Business
企業における情報システムの分類 64

Developing IS for Solving Business Problems
問題解決のための情報システムの開発 67

7. History of Computer Systems

言葉の誕生からパーソナルコンピュータまで 74

Three Basic Tools for Communication
コミュニケーションのための三つの道具の誕生 74

Computing before Computers
コンピュータ以前の計算機 77

First Large-Scale Electronic Digital Computer
コンピュータの誕生 82

Technical Evolution of Computers
現代までのコンピュータシステムと情報処理の発展 83

Microcomputers Evolution
マイクロコンピュータの出現と発展 88

8. Perspective of Information Systems in 2020

2020年における情報システムの展望 91

Underlying Information Technologies
2020年までの情報システムを決定する基盤技術 91

Hardware Pyramid
ハードウェアピラミッド 98

Software Pyramid
ソフトウェアピラミッド 99

Cloud Computing
クラウドコンピューティング 100

CHAPTER 2

Input/Output Devices 入出力装置104

1. Overview of Input/Output Devices

入出力装置とは	106
Data Expression データの表現	106
Function of Input/Output Devices 入出力装置の機能	107
Input/Output Interface 入出力インタフェース	108

2. Input Devices

入力装置	109
Keyboard キーボード	110
Pointing Devices ポインティングデバイス	110
Optical Barcode Reader バーコードリーダー	112
Optical Character Reader OCR (光学的文字読取り装置)	113
Optical Mark Reader OMR (光学的マーク読取り装置)	114
Magnetic Ink Character Reader MICR (磁気インク文字読取り装置)	114
Digitizer ディジタイザ	115
Image Scanner イメージスキャナ	115
3D Scanner 3D スキャナ	116
Camera カメラ	116
Voice Recognizing Unit 音声認識装置	116
Authentication Devices 認証装置	117
New Media of Card カードのニューメディア	117

3. Output Devices

出力装置	120
Display ディスプレイ (表示装置)	120
Projector プロジェクタ	123
Printer プリンタ (印字装置)	124
Plotter プロッタ (作図装置)	130
3D Printer 3D プリンタ	131

4. Multimedia

マルチメディア	133
Multimedia マルチメディア技術	133
Image 画像	134
Sound サウンド	135
Data Compression データ圧縮技術	136
Multimedia Application マルチメディア応用	137

5. User Interfaces

ユーザインタフェース	140
Overview of User Interfaces ユーザインタフェースとは	140
Usability ユーザビリティ	140
Interactive Processing Support Features 対話処理の援助	141
GUI and its Components GUI とその構成部品	142
Barrier Free and Universal Design バリアフリーとユニバーサルデザイン	143
Accessibility アクセシビリティ	144

CHAPTER 3

Storage Devices 記憶装置152

1. Main Memory and Auxiliary Storage

主記憶装置と補助記憶装置	154
Internal Data Representation コンピュータ内部のデータ	154
Memory Speed and Capacity 記憶装置の性能	156
Storage Hierarchy 記憶階層	157

2. Main Memory

主記憶装置	159
Addressing 主記憶装置とアドレス	159
Capacity of Main Memory 主記憶装置の記憶容量	160
IC Memory IC メモリ	161
Random Access Memory RAM	162
Read Only Memory ROM	163
Other Storage Elements その他の記憶素子	164

3. Auxiliary Storage and File

補助記憶装置とファイル	167
Record and File レコードとファイル	167
Volume and File ボリュームとファイル	169

4. Magnetic Disk Storage

磁気ディスク装置	170
Magnetic Disk 磁気ディスク	170
Magnetic Disk Unit 磁気ディスク装置	172
Data Recording Methods データの記録方式	175
Calculation of Storage Capacity and Access Time 記憶容量とアクセス時間の計算	176
Hard Disk Drive ハードディスクドライブ	177
Disk Drive and Defragmentation ディスク装置とデフラグメンテーション	177
Solid State Drive ソリッドステートドライブ	178

Removable Hard Disk リムーバブルハードディスク	179
Disk Array ディスクアレイ	179
Floppy Disk フロッピーディスク	180

5. Optical Disc

光ディスク	181
Compact Disc Read Only Memory CD-ROM (読出し専用型光ディスク)	181
Magneto-Optical Disc 光磁気ディスク (書換え型光ディスク)	183
Digital Versatile Disc DVD	183
Blu-ray Disc ブルーレイディスク	184

6. Other Storages

その他の記憶装置	186
Magnetic Tape Unit 磁気テープ装置	186
Semiconductor Memory 半導体記憶装置	189
Storage Area Network and Network Attached Storage SAN と NAS	190
Flash Memory Card カード型フラッシュメモリ	191
USB Memory USB メモリ	191

CHAPTER 4

The Central Processing Unit (CPU) 中央処理装置198

1. Organization of CPU

CPU の仕組み	200
Overview of CPU	
CPU とは	200
CPU Components	
CPU の構成要素	201
CPU and Main Memory	
CPU と主記憶装置	202

2. Control Unit

制御装置	204
Control of Instruction Execution	
命令実行の制御	204
Register	
レジスタ	206
Machine Language	
機械語命令	207
Types of Addressing System	
アドレス指定方式	209
Branch Instruction	
分岐命令	214
Subroutine Call	
サブルーチン呼出し	215
Program Relocation	
プログラムの再配置	217

3. Arithmetic Logical Unit

算術論理演算装置	220
Types of Arithmetic Logical Features	
演算機構の種類	221

4. Input/Output Control in CPU

CPU の入出力制御	222
Bus	
バス	222
Input/Output Interface	
入出力インタフェース	223
Input/Output Control	
入出力制御	226

5. Architecture of CPU

CPU 関連アーキテクチャ	228
Overview of Computer Architecture	
コンピュータアーキテクチャとは	228
Cache Memory	
キャッシュメモリ	229
Memory Interleaving	
メモリインタリーブ	230
Advanced Control	
先行制御	231
Pipeline Control	
パイプライン制御	232
Parallel Processing	
並列処理	232
Multi-core Processor	
マルチコアプロセッサ	234
Microprogram Control	
マイクロプログラム制御	234
Complex Instruction Set Computer and Reduced Instruction Set Computer	
CISC と RISC	236
Components of a Personal Computer	
パソコンの内部構成	237

CHAPTER 5

Operating Systems オペレーティングシステム246

1. History and Purposes of Operating Systems

オペレーティングシステムの歴史と目的	248
History of Operating Systems	
オペレーティングシステムの歴史	248
Purposes of Operating Systems	
オペレーティングシステムの目的	250

2. Fundamentals of Operating Systems

オペレーティングシステムの基礎	252
Positioning of Operating Systems	
オペレーティングシステムの位置付け	252
Structure of Operating Systems	
オペレーティングシステムの構成	253
History of Personal Computer's Operating Systems	
パソコン OS の変遷	254
MS-DOS	
MS-DOS	254
DOS/V	
DOS/V	256
Windows 3.1	
Windows 3.1	256
Windows 95	
Windows 95	257
Windows 2000	
Windows 2000	257
Windows XP	
Windows XP	257
Windows Vista	
Windows Vista	258
Windows 7	
Windows 7	258
Windows 8	
Windows 8	258
OS for Tablet Computers	
タブレット端末用 OS	259
UNIX	
UNIX	259
Linux	
Linux	260

3. Multi-Programming and Interrupt

マルチプログラミングと割込み	262
Multi-Programming	
マルチプログラミング	262
Interrupt	
割込み	263

4. Functions of Operating Systems

オペレーティングシステムの機能	267
Data Management	
データ管理	268
Job and Task	
ジョブとタスク	270
Job Management	
ジョブ管理	273
Job Control Language and Control Flow	
ジョブ制御言語と制御の流れ	273
Functions of Job Management Program	
ジョブ管理プログラムの働き	274
Task Management	
タスク管理	277

5. Memory Management

記憶管理	281
Real Memory Management	
実記憶の記憶管理	281
Types of Virtual Memory	
仮想記憶方式	284

6. Language Processor

言語プロセッサとその他のプログラム	289
Assembler	
アセンブラ	289
Compiler	
コンパイラ	289
Interpreter	
インタプリタ	292
Generator	
ジェネレータ	292
Variety of Programming Languages	
プログラム言語のいろいろ	292
Open Source Software	
オープンソースソフトウェア	299
Service Programs	
サービスプログラム	301
Characteristics of Programs	
プログラムの性質	303

7. Current Virtualization Technology

現在の仮想化技術	306
Virtual Machine	
仮想マシン	306
Storage Virtualization	
ストレージ仮想化	308
Client Virtualization	
クライアント仮想化	308

CHAPTER 6

Theory of Information Processing Technologies 情報処理技術の基礎と理論318

1. Data Representation

コンピュータ内のデータ表現	320
Decimal Number	
10進数	320
Binary Number	
2進数	321
Hexadecimal Number	
16進数	323
Octal Number	
8進数	324
Calculation of Radix Conversion	
基数変換の計算	325
Binary Number Range	
2進数の表現範囲	327
Fixed-point Number	
固定小数点数	327
Floating-point Number	
浮動小数点数	331
Decimal Data Expression	
10進数データの表現	334
Character Data and Coding Scheme	
文字データとコード体系	336
Detecting Code Errors	
誤差対策	339

2. Fundamentals of Information Theory

情報の基礎理論	342
Data and Information	
データと情報	342
Logic	
論理	343
Logical Operation	
論理演算	343
Predicat Logic	
述語論理	346
Set	
集合	346
Bit Operation	
ビット演算	347
Graph Theory	
グラフ理論	348
Queueing Theory	
待ち行列理論	350

3. Fundamentals of Program Theory

プログラムの基礎理論	351
Turing Machine	
チューリング機械	351
Automaton	
オートマトン	353

Theory of Computation	
計算の理論	354
Theory of Computability	
計算可能性の理論	354
Theory of Computational Complexity	
計算複雑性の理論	356

4. Data Structure and Algorithm

データ構造とアルゴリズム	357
Importance of Data Structure and Algorithm	
データ構造とアルゴリズムの重要性	357
Data Structure	
データ構造	357
Array	
配列	358
Structure (Record)	
構造体 (レコード)	358
List Structure	
リスト構造	359
Tree Structure	
木構造	361
Queue and Stack	
待ち行列とスタック	367
Algorithm	
アルゴリズム	368

5. Theories of Storage and Arithmetic Operation

記憶と演算の原理	374
Switching Circuit and Logic Circuit	
スイッチ回路と論理回路	374
Logic Circuit	
論理回路の実現	376
Flip-Flop Circuit	
フリップフロップ回路	378
Adder	
加算回路	378

6. Interaction between Hardware and Software

機械語プログラムの実行 - CASL II を使って	381
COMET II and CASL II	
COMET II と CASL II	381
Assembly of Program	
プログラムのアセンブル	384
Execution of Program	
プログラムの実行	384

7. Theory of Instrumentation and Control

計測・制御に関する理論	389
Signal Processing	
信号処理	389
Theory of Control	
制御に関する理論	390

CHAPTER 7

File Organizations and Database ファイル編成とデータベース402

1. Overview of Files

ファイルとは	404
Types of Files ファイルの種類	404
Access Mode of Files ファイルのアクセス方法	405

2. File Organizations

ファイル編成	407
About File Organizations ファイル編成について	407
Sequential Organization File 順編成ファイル	408
Indexed Sequential Organization File 索引順編成ファイル	409
Direct Organization File 直接編成ファイル	410
Partitioned Organization File 区分編成ファイル	413
Virtual Storage Access Method File VSAM 編成ファイル	414
File System ファイルシステム	416
File System Structure ファイルシステムの構造	416

3. Database

データベース	419
Overview of Database データベースとは	419
Types of Database データベースの種類	420
Data Normalization データの正規化	422

4. Database Management System

データベース管理システム	427
Functions of DBMS データベース管理システムの機能	427

5. Utilization of Database and SQL

データベースの利用と SQL	432
Overview of SQL SQL とは	432
Description of Schema スキーマを定義する	432
Access to Database データベースにアクセスする	435

6. Administration of Database

データベースの運用	440
Recovery 障害回復機能	440
Restructuring and Reorganization データベースの再構成と再編成	445

7. Trends of Database Technologies

データベース技術の動向	446
Distributed Database 分散データベース	446
Object Oriented Database and Multimedia Database オブジェクト指向データベースと マルチメディアデータベース	447
Database for Decision Support Systems 情報系システムのデータベース	448
Big Data ビッグデータ	449

CHAPTER 8

Computer Networks and Telecommunications 通信ネットワークシステム……………458

1. Fundamentals of Telecommunications

テレコミュニケーションの基礎 ……………	460
History of Computer Networks and Telecommunications 通信ネットワークシステムの変遷 ……………	460
Network Systems in Today and New Future これからの通信ネットワークシステム ……	462

2. Fundamentals of Data Transmission

データ伝送の基礎 ……………	464
Components of Network System 通信ネットワークシステムの構成要素 ……	464
Data Representation and Code 情報の表現と符号 ……………	464
Fundamentals of Data Transmission Technologies 伝送技術の基礎 ……………	465
Physical Connection Mode 回線の接続方式 ……………	471
Data Transmission Protocol 伝送制御手順 ……………	472
Circuit Capacity Design 回線に関する計算 ……………	476
Network System Configuration 通信ネットワークシステムの構成装置 ……	478

3. Network Architecture and Basic Concepts of Telecommunication

ネットワークアーキテクチャと通信の基本概念 …	481
Network Architecture and Protocols ネットワークアーキテクチャとプロトコル …	481
Standardization of Network Architecture ネットワークアーキテクチャの標準化 ……	481
OSI Basic Reference Model OSI 基本参照モデル ……………	482
TCP/IP Protocol Suite TCP/IP プロトコル体系 ……………	485
Basic Concepts of Telecommunication 通信の基本概念 ……………	486

4. Trends of Telecommunication Networks

通信ネットワークの動向 ……………	489
Telecommunication Networks until 20th Century 20 世紀までの通信ネットワーク ……………	489
New Telecommunication Services 新しい通信ネットワークサービス ……………	491

5. System of Local Area Network

LAN の方式 ……………	498
Overview of LAN LAN とは ……………	498
Topologies of LAN LAN の接続形態 (トポロジ) ……………	500
Access Control Methods アクセス制御方式 ……………	501
Wireless LAN 無線 LAN ……………	503
Interconnection of LANs LAN 間接続 ……………	506

6. TCP/IP and Internet

TCP/IP とインターネット ……………	508
TCP/IP TCP/IP ……………	508
IP Address IP アドレス ……………	509
TCP and UDP TCP と UDP ……………	515
Internet Mail Protocols 電子メールプロトコル ……………	517
Web Access Web アクセス ……………	519
Other Service Protocols その他のプロトコル ……………	522
Network Management ネットワーク管理 ……………	523

CHAPTER 9

Information Security 情報セキュリティ532

1. Concept of Information Security

情報セキュリティの概念	534
Threat	
脅威	534
Disaster	
災害	535
Cyber-Attack	
サイバー攻撃	535

2. Technologies of Information Security

情報セキュリティに関する技術	541
Encryption Technology	
暗号化技術	541
Authentication Technology	
認証技術	544
Access Filtering Technology	
アクセスフィルタリング技術	547

3. Solutions of Information Security

情報セキュリティのための具体的解決策 ..	549
E-Mail Security	
電子メールのセキュリティ	549
Web Security	
Webのセキュリティ	550
Database Security	
データベースセキュリティ	551
Virtual Private Network	
VPN	552

4. Management of Information Security

情報セキュリティ管理	553
Risk Management	
リスク管理	553
Facility Management	
ファシリティ管理	554
Disaster Recovery	
ディザスタリカバリ	556

5. Standardization and Laws for Information Security

情報セキュリティに関する標準化と法制度 ..	557
Standardization	
標準化	557
Law	
法制度	559

CHAPTER 10

Information Systems and RASIS 情報システムと RASIS566

1. Information Processing Method

情報の処理方式	568
Various Processing Methods いろいろな処理方式	568
Batch or Interactive バッチか対話型か	570
Client / Server System クライアントサーバシステム	571

2. Reliability of Information Systems

情報システムの信頼性	574
Concept of RASIS RASIS とは	574
System Configuration to Improve System Reliability 信頼性向上のためのシステム構成	575
Operating Ratio システムの稼働率	579
Operating Ratio for Multi-Systems 複数システムの稼働率	580
Fail soft and Fail safe フェールソフトとフェールセーフ	580
Fault Tolerant System and Fault Avoidance フォールトトレラントシステムと フォールトアボイダンス	581
Fool proof フルプルーフ	581

3. Data Integrity and Error Control

データのインテグリティと誤り制御	583
Data Integrity データのインテグリティ	583
Error Control 誤り制御	585
Error Control Methods 誤り制御方式	586
Redundant Array of Independent Disks RAID	589

4. Evaluation of Computer Systems Performance

システムの性能評価	592
Performance Evaluation Index 性能評価の指標	592
Performance Evaluation Methods 性能評価の技法	593

CHAPTER 11

Development of Information Systems 情報システムの開発 602

1. Concept of System Development

システム開発とは	604
System Life Cycle	
システムのライフサイクル	604
Procedure of System Development	
システム開発の手順	605
Documentation	
ドキュメンテーション	607
Methodologies for System Development	
システム開発の方法論	607

2. Outline of System Development

システム開発の概要	610
Basic Planning	
基本計画	610
External Design	
外部設計	611
Internal Design	
内部設計	616
Program Design	
プログラム設計	619
Programming	
プログラミング	620
Testing	
テスト	624
Review	
レビュー	626
CASE (Computer-Aided Software Engineering) Tools	
CASE ツール	626

3. Management and Administration of Systems Development

システム開発の管理と運用	628
Project Management	
作業管理	628
System Administration and System Maintenance	
システム運用と保守	634
System Auditing	
システム監査	635
Internal Control	
内部統制	636

4. Structured Techniques

構造化技法	638
Concept of Structured Techniques	
構造化技法とは	638
Outline of Structured Techniques	
構造化技法の概要	639
Diagrams for Structured Design	
構造化設計で使われる表記法	641
Structured Programming	
構造化プログラミング	642
Structured Chart	
構造化チャート	643

5. Object-oriented Technique

オブジェクト指向	645
Definition of Object	
オブジェクトとは	645
Classes and Instances	
クラスとインスタンス	645
Relationship between Classes	
クラス間の関係	646
Object-oriented technique for Program Development	
オブジェクト指向でのプログラム開発	647
Unified Modeling Language	
UML	648

6. Issues in Developing Information Society

情報化の課題	652
Standardization	
標準化	652
Law and Policy	
法制度	654

The page features several decorative elements: a large blue triangle on the left, a smaller blue triangle on the right, and a vertical line on the right side. A horizontal dotted line is positioned below the vertical line on the right. The text is centered and framed by these elements.

CHAPTER 4

***The Central
Processing Unit (CPU)***

学習のねらい

中央処理装置（CPU）は、入力装置や補助記憶装置を通して主記憶装置に記憶されたプログラムによって、データの処理を実際に行います。

コンピュータの頭脳ともいえる CPU が、内部でどんな動作をしているかを学習するのが、この章の目的です。実際に目で確認できない内部の仕掛けを理解するのは大変ですが、機械語命令の存在を常に意識して学習を進めてください。

また、CPU 関連アーキテクチャはやや難解なので、第 5 章のオペレーティングシステムの後で、もう一度学習すると理解が深まることでしょう。

..... 中央処理装置

1. Organization of CPU

CPU の仕組み 200

2. Control Unit

制御装置 204

3. Arithmetic Logical Unit

算術論理演算装置 220

4. Input/Output Control in CPU

CPU の入出力制御 222

5. Architecture of CPU

CPU 関連アーキテクチャ 228

1. Organization of CPU

1. CPU の仕組み

CPU とは

Overview of CPU

いよいよコンピュータの核心にせまります！

コンピュータの5大機能（入力、出力、記憶、演算、制御）の中で、制御と演算を行う装置が**中央処理装置**（CPU；Central Processing Unit）です（図4-1）。

このうち、制御を行う部分を**制御装置**、または制御機構といいます。制御装置は実行される命令のアドレスを基に、主記憶装置からCPUに命令を取り込みます。そして、どんな命令かを解読し、必要な動作指示をほかの装置に対して出します。

演算を行う部分は**演算装置**、または演算機構といい、いろいろな形式を持つデータに対して四則演算、論理演算や大小比較などを行います。演算装置は、命令に対応した様々な回路から構成されています。

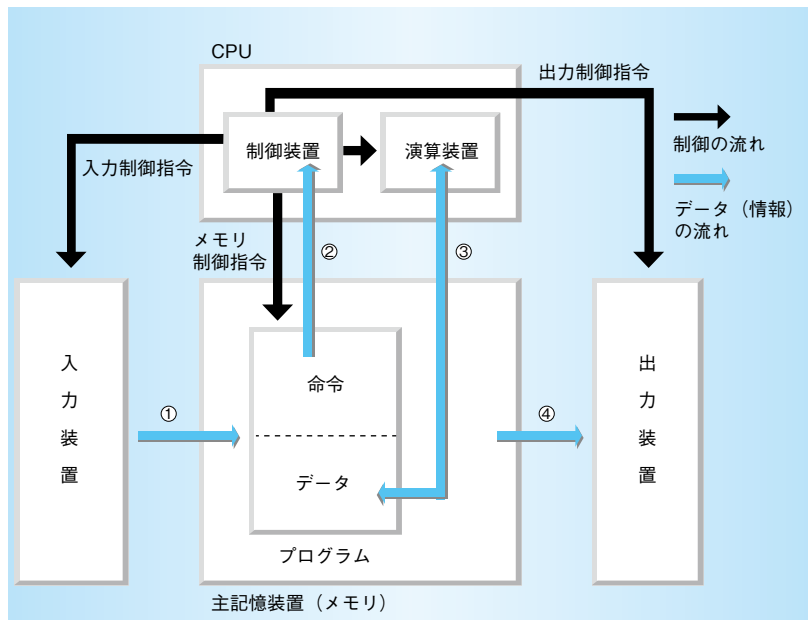


図 4-1 CPU の位置付け

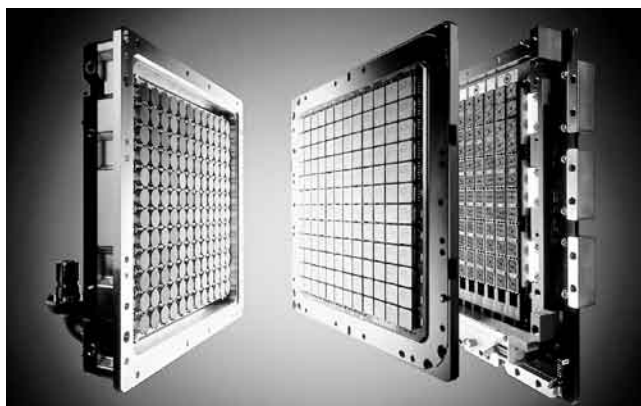


図 4-2 スーパーコンピュータの CPU

CPU の構成要素

CPU Components

CPU を構成する要素には制御装置、演算装置のほかに**レジスタ** (register)、**クロック** (clock) があります。

レジスタは、数ビットから数十ビットほどのデータを一時的に記憶する回路です。この回路は、一般にフリップフロップ回路（第 6 章）が使われ、CPU の高速な演算に耐える高速な読み書きができます。CPU 内には、用途・目的に応じた複数のレジスタがあり、制御、演算のために使われています。

クロックは、コンピュータ内の動作のタイミングを取るために、規則正しくクロック信号（パルス）を発生させる回路で、**クロックジェネレータ** (clock generator) とも呼ばれます。コンピュータ内のすべての動作は、このクロック信号を基に動作を開始します。一般的にクロック信号が速くなれば、コンピュータの動作も速くなります。クロック信号の速さをクロック周波数といい、MHz (メガヘルツ) や GHz (ギガヘルツ) が単位として一般的に使われます。例えば、パソコンで使われている 2GHz の CPU は、1 秒間に 20 億回、クロック信号を発生させることになります。

CPU を構成しているこれらの要素は**バス** (bus) という通り道でつながっていて、データや制御信号のやり取りは、このバスを通して行われます。バスは、CPU 内部の構成要素間だけでなく、主記憶装置などの CPU 外部の装置と CPU とのデータのやり取りにも使われます。このうち、CPU 内の構成要素間をつなぐバスを通してやり取りされる内容には、データ自体だけでなく、タイミングを取るためのクロック信号や、主記憶装置のアドレスなどがあります。これらの情報は、同じ信号線を使ってやり取りされるのではなく、それぞれ専用の線が用意されています。



図 4-3 CPU の構成要素

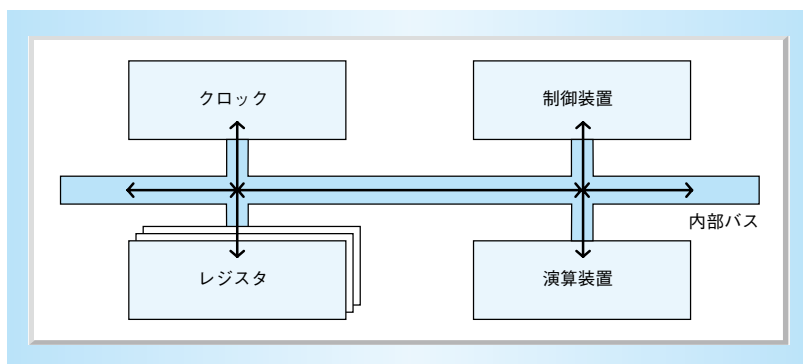


図 4-4 CPU 内部のバス

CPU の性能を表す指標の一つとして、すでに述べたクロック周波数のほかに、CPU が一度に扱うことのできるビット数があります。このビット数には、8、16、32、64 などがあり、ビット数が多いほど、大きなデータが一度に扱えるので、性能が良いということになります。パソコンの性能を表すのに、CPU であるマイクロプロセッサの性能がよく使われ、例えば、「32 ビット、1.5GHz のプロセッサで……」という具合に表現されます。内部バスのデータ信号線は、CPU がデータを同時にやり取りできる本数だけ、用意されます。

CPU と主記憶装置

CPU and Main Memory

CPU が、主記憶装置に記憶されているプログラムの命令を取り出したり、データをやり取りしたりするときには、CPU と主記憶装置の間のメモリバスを通じて行われます。

主記憶装置との命令やデータのやり取りは、格納されているアドレス、または格納する場所を示すアドレスを基に読取りか書込みの区別をして行います。CPU は、このアドレスを専用のレジスタに入れ、その内容を基に命令やデータの実際のやり取りを行います。

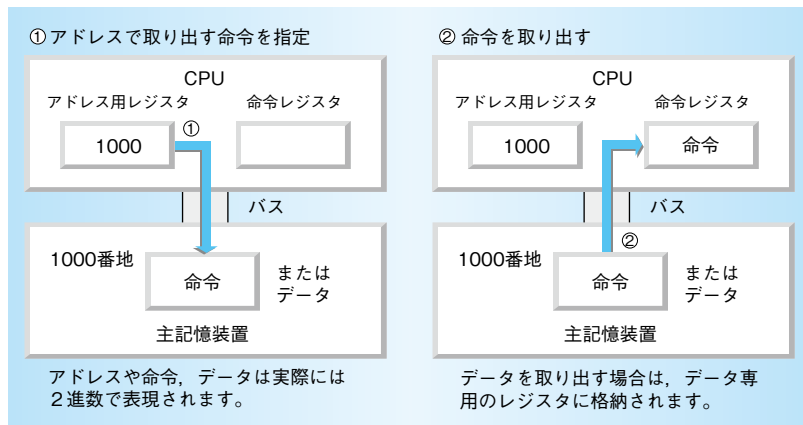


図 4-5 CPU と主記憶装置をつなぐバス

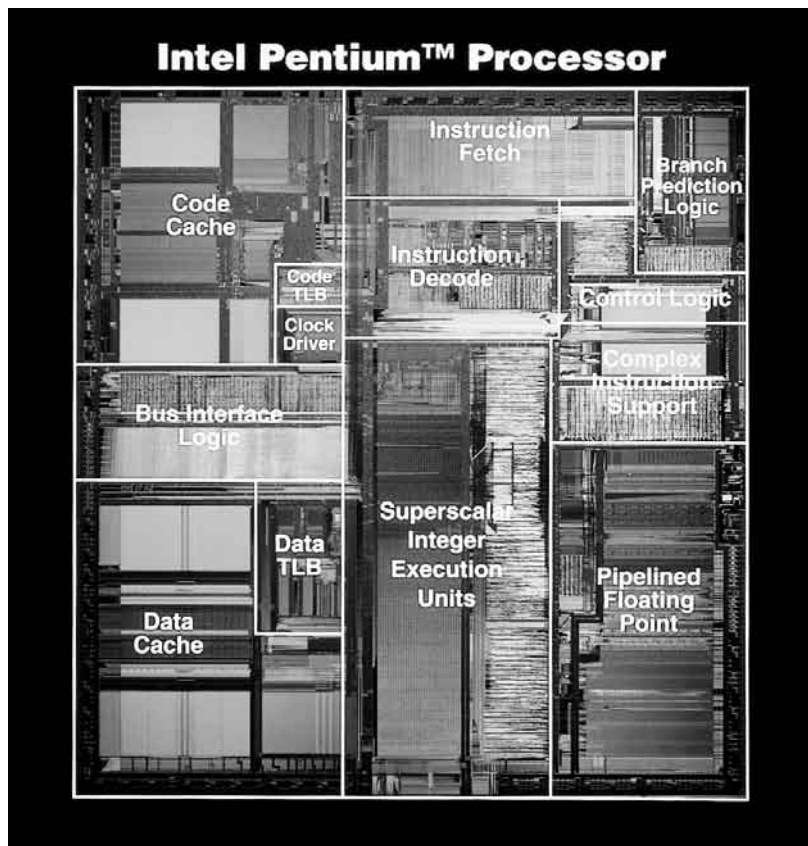


図 4-6 マイクロプロセッサを構成する要素

● Check 4 - 1 ●

5大機能を実行する装置のうち、①_____と②_____とをひとまとめにしてCPU (③_____装置) といいます。①_____は、④_____にある命令を一つずつ順番に取り出して解読する装置、②_____は、四則演算、論理演算、比較などを行う装置です。

● Check 4 - 2 ●

CPU を構成する要素で、制御・演算のために使われ、数ビットから数十語ほどのデータを一時的に記憶する回路を①_____といえます。また、コンピュータ内の動作のタイミングを取るために、規則正しく信号を発生させる回路を②_____といえます。

● Check 4 - 3 ●

CPU と主記憶装置との命令やデータのやり取りは、①_____を通過して行われ、格納されている場所を示す②_____を主記憶装置に渡すことによって行われます。

Case 4

Case 4-1

CPU 内にあるレジスタを用途に着目してまとめよう。

Case 4-2

命令の実行過程を CPU の図の中でもう一度追ってみよう。

Case 4-3

アドレス指定方式の違いを図示しながらまとめてみよう。

Case 4-4

学校や会社などで、特定の人の机の場所を各アドレス指定方式にならって表してみよう。

Case 4-5

パソコンなどの CPU の性能を雑誌やカタログなどから、いろいろ探して比較してみよう。

Case 4-6

パソコンなどのケーブルが何というインタフェースなのか調べてみよう。

Case 4-7

新聞広告などに載っている最新のパソコンの性能やセールスポイントは何か調べてみよう。

Mini Discussion 4

Mini Discussion 4-1

CPU のクロックやバスに相当するものを身の回りのものから考えてみよう。

Mini Discussion 4-2

コンピュータの中で、レジスタのような高速な記憶装置を、なぜ、よりたくさん使わないのか考えてみよう。

Mini Discussion 4-3

インタフェースが統一されていないと、どんな問題が起きるか考えてみよう。

Mini Discussion 4-4

チャンネルのように作業を分担して、仕事を進める方式を現実の組織やグループ作業に例えるとどうなるか考えてみよう。

Mini Discussion 4-5

キャッシュメモリの考え方と同じように行っている作業や動作がほかにないか、考えてみよう。

Mini Discussion 4-6

パイプライン制御や並列処理の考え方は、コンピュータ以外にどんなところで使われているか考えてみよう。

Mini Discussion 4-7

周辺装置からデータを入力するのに必要な時間が 100 ミリ秒、CPU の性能を 10MIPS とし、入力処理の間 CPU が何もしないとすると、単純計算で何回命令が実行できることになるか計算してみよう。

CHAPTER 4 章末問題

■問1 次の記述に該当する用語を解答群から選べ。

- a. CPUで実行できるように、プログラムを記憶しておく装置を何というか。
ア 入力装置 イ 出力装置 ウ 主記憶装置 エ 補助記憶装置 オ 中央処理装置
- b. プログラムの命令の解読実行を行う装置を何というか。
ア 入力装置 イ 出力装置 ウ 主記憶装置 エ 補助記憶装置 オ 中央処理装置
- c. 周辺装置と記憶装置の間でデータを読み書きする動作を何というか。
ア シーク イ サーチ ウ バッファ エ アクセス オ デコード
- d. CPUに代わって、周辺装置からデータの入出力を行う装置を何というか。
ア 入出力装置 イ 入出力チャンネル ウ 入出力制御装置 エ 主記憶装置
オ 補助記憶装置
- e. CPUからの入出力命令を、各周辺装置固有の制御命令に替える装置を何というか。
ア 入出力装置 イ 入出力チャンネル ウ 入出力制御装置 エ 主記憶装置
オ 補助記憶装置

■問2 次の記述に該当する用語を解答群から選べ。

- a. 命令が格納されている主記憶装置上のアドレスを指定しているレジスタを何というか。
ア インデックスレジスタ イ ベースレジスタ ウ 命令レジスタ
エ 命令アドレスレジスタ オ 汎用レジスタ
- b. プログラムから自由に使うことができるレジスタを何というか。
ア インデックスレジスタ イ ベースレジスタ ウ 命令レジスタ
エ 命令アドレスレジスタ オ 汎用レジスタ
- c. 制御装置内の命令を解読するものを何というか。
ア デコーダ イ レジスタ ウ アクムレータ
エ チャンネル オ DMA
- d. アドレス計算によって求められる、主記憶装置上でデータが格納されているアドレスを何というか。
ア 直接アドレス イ 有効アドレス ウ 間接アドレス
エ 指標アドレス オ 相対アドレス
- e. アクセス時間を速くするために、CPU内に置く記憶装置を何というか。
ア CCD イ RISC ウ CISC
エ キャッシュメモリ オ 半導体ディスク

用語 *Index*

<数字>

0の発見	78
1 アドレス命令	208
1の補数	328
1 マシンサイクル	232
2 アドレス命令	208
2 進数	321
2 相コミット処理	444
2の補数	328, 329
2分木	364
2分探索	372
2分探索木	364
3D スキャナ	116
3D プリンタ	131
3 アドレス命令	208
3層クライアントサーバシステム	572
3層スキーマ	428
5大機能	57
8進数	324
9の補数	328
10 進演算機構	221
10 進数	320
10 進表示	510
10の補数	328
16 進数	323

< A >

A/D 変換	389
Abacus	78
Ada	295
Ada Lovelace	80
ADSL	96, 490, 494
ADSL モデム	494
AES	541
Alan Turing	80
ALGOL	293
algorithm	78
ALU	220
AND	344
Android	259
AND 回路	375
ANSI	224, 653
ANSI/X3/SPARC の3層スキーマ	428
APL	296
AR	139
ARP	514

ARPA	461
ASCII コード	336
ATA/ATAPI	225
AVI	135
AVL 木	366

< B >

BASIC	85, 294
BCD	334
BCP	554
BETWEEN 述語	438
Bill (William) Gates	89
Blaise Pascal	79
Bluetooth	225
BMP	134
BPR	60
BSDL	300
B 木	366
B 木インデックスファイル	415

< C >

C	295
C++	297
CA	542
CAD	115, 131
CAD/CAM	131
CAM	131
CASE	626
CASL II	382
CATV サービス	96
CC	557
CCD	164
CCITT	464
CCP	479
CCU	479
CD	167
CD-R	182
CD-ROM	181, 182
CD-RW	181, 182
CG	137
CGI	519
Charles Babbage	80
CIDR	511
CIM	63
CISC	236
Claude Shannon	81

CMMI	631
CMYK	128
COBOL	84, 293
COCOMO	629
CODASYL	293
COMET II	381
COMMIT 文	444
cookie	520
CP/M	254
CPU	57, 200
CRC 方式	587
CRT	120
CRT ディスプレイ	122
CSMA/CA	504
CSMA/CD 方式	501
C 言語	86

< D >

D/A 変換	390
DAT	186, 284
DATA	37
DBMS	427
DCE	478
DDL	428
DDoS 攻撃	538, 539
DDR SDRAM	162
DDS	186
DDX パケット交換サービス	489
DES	541
DFD	641
DHCP	513
DIMM	163
DISTINCT 指定	436
DMA コントローラ	226
DMA 制御方式	226
DML	428
DMZ	547
DNS	518, 521
DNS サーバ	518
DOS/V	256
DoS 攻撃	538
dpi	115, 128
DRAM	162
DSS	60, 65
DSU	479
DTP	129

Check3-11

- ①磁気テープ ②カートリッジ

Check3-12

- ①SAN ②NAS

CHAPTER 4=====

Check4-1

- ①制御装置 ②演算装置
③中央処理 ④主記憶装置

Check4-2

- ①レジスタ
②クロック (または, クロックジェネレータ)

Check4-3

- ①バス ②アドレス

Check4-4

- ①命令アドレスレジスタ ②命令の長さ
③次の命令のアドレス

Check4-5

- ①逐次

Check4-6

- ①三 ②二 ③一

Check4-7

- ①アドレス ②直接

Check4-8

- ①インデックスレジスタ (または, 指標レジスタ)
②アドレス値 (または, アドレス)
③同じ (または, 同一の)

Check4-9

- ①相対 (または, 自己相対) ②命令アドレス

Check4-10

- ①レジスタ ②間接 ③即値

Check4-11

- ①命令アドレス ②条件付 ③無条件

Check4-12

- ①閉じた ②命令アドレス ③スタック

Check4-13

- ①固定小数点演算機構 ②浮動小数点演算機構
③10進演算機構

Check4-14

- ①入出力インタフェース ②パラレル
③シリアル

Check4-15

- ①入出力制御装置 ②直接入出力制御方式
③DMA制御方式 ④チャンネル

Check4-16

- ①アーキテクチャ

Check4-17

- ①キャッシュメモリ ②高速バッファメモリ
(①, ②は順不同)

Check4-18

- ①近い ②遠い

Check4-19

- ①命令実行 ②命令取出し ③先行制御
④ステージ ⑤パイプライン制御

Check4-20

- ①並列 ②SIMD ③MIMD

Check4-21

- ①マイクロ命令 ②マイクロプログラム
③制御記憶 ④ファームウェア

Check4-22

- ①マルチコアプロセッサ
②並列処理

CHAPTER 4

問1 a-ウ, b-オ, c-エ, d-イ, e-ウ

d: 入出力チャンネルは、主記憶上のチャンネルプログラムによって動作する一種のコンピュータと考えることができます。

問2 a-エ, b-オ, c-ア, d-イ, e-エ

b: アセンブラでは、番号などでレジスタを指定してプログラムを作成します。

d: 有効アドレスは実効アドレスともいいます。

e: 半導体ディスク装置は、磁気ディスクなどのアクセス時間を短縮させる目的で、主記憶装置と磁気ディスク装置の間に置く装置です。

問3 ア-〇, イ-×, ウ-×, エ-×, オ-〇

イ: 命令のアドレス部に直接データの値を入れておく方式を、即値アドレス指定方式といっています。

ウ: 演算結果を一時的に記憶しておくレジスタは、アキュムレータ、または汎用レジスタです。

エ: 浮動小数点演算回路によって、浮動小数点数の演算が高速に行われます。

問4 イ

データの取出しは、データが記憶されているアドレス（有効アドレス）を計算してから行われます。

問5 a-エ, b-シ, c-ウ, d-オ, e-コ, f-ウ

b: CPUは主記憶装置上に記憶されたプログラムしか実行の対象にできません。

解答群（キ）のエンコーダは、入力信号から、2進数で表された信号などを出力する回路のことです。

問6 a-カ, b-イ, c-ア, d-エ, e-キ, f-ケ

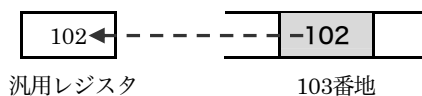
c: 主記憶装置と磁気ディスク装置の間に置く、高速のバッファ記憶装置をディスクキャッシュといっています。

通常、複数の磁気ディスク装置を制御するディスク制御装置とともに利用します。

解答群（ウ）の半導体ディスク装置は、外部記憶装置の頂点に位置付けられる高速記憶装置で、頻繁にアクセスするデータを格納しておくことによって、システム全体の性能向上を図ります。半導体記憶装置ともいいます。

問7 a-エ, b-ア, c-エ

a: LD/103……直接アドレス指定方式；103番地の内容を汎用レジスタにロードします。



b: LD/(101)……間接アドレス指定方式；101番地の内容がロードするデータの有効アドレスになります。

