

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、これまで改訂を重ねてきました。

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て、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、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。

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、難しい内容を解きほぐしながら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、広く知られていないものでも積極的に記述しています。

今回の第17版は前版から4年ぶりの改訂になり、この間に、IoT・ビッグデータ・AIを応用して、幅広い分野で技術の進展がありました。改訂にあたっては、これらの技術に関する基礎知識を追加し、日々拡大するセキュリティの重要性に関連して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解説内容を検討しました。新たに解説した内容としては、AI、IoT、GPS、センサ、デジタルサイネージなどがあります。また、各章で説明している図表について、分かりやすさの観点から見直しを図り、必要な修正をしました。

今回の改訂は全体に渡っていますが、継続して利用いただいている皆さまは、次に示す章ごとの改訂概要を参照してください。

- 第1章** ここ数年、急速に進展している IoT・ビッグデータ・AIについて今後期待される応用分野を含めて基本的な解説を加えました。全体にネットワーク技術、LSI 化技術などの急速な進歩に合わせて内容を見直しました。IBM Q という商用の量子コンピュータの簡単な説明と写真を加えました。
- 第2章** IoT 関連の知識として入力装置にセンサを追加しました。出力装置のディスプレイについて CRT の説明を簡略化し、デジタルサイネージを追加しました。全体に製品写真を新しくしています。また、ユーザインタフェースに関して、ヒューリスティックを追加しました。
- 第3章** 記憶装置の容量やアクセス速度、製品写真など現在の製品に合わせて修正しました。LSI の製造工程の説明を見直し、フロッピーディスク、光磁気ディスク、磁気テープ、半導体記憶装置の説明を修正し、一部簡略化しました。SAN と NAS の説明は 10 章に移しました。
- 第4章** システムバスの説明の整理・見直しをし、入出力インタフェースの説明を新しい規格に合わせて修正しました。デバイスドライバの説明を追加し、マルチプロセッサの説明を修正しました。パソコンの内部構成に関して、写真を分かりやすいものに変更しました。
- 第5章** パソコン OS の記述を一部簡略化し、新しい Windows 10 の追加、Linux の各種ディストリビューションの説明を追加しました。Linux のシェルに相当する Windows の PowerShell について簡単に記述しました。
- 第6章** 整列の交換法の手順を詳しく示しました。ダイオード、トランジスタの記号を現在の規格の表記に修正しました。章全体に図表の見やすさを考え、色使いなどを修正しました。
- 第7章** VSAM 編成ファイルに関する説明を補足し、また、ビューや関数従属などの用語説明も追記しました。ビッグデータについては前版の改訂時に追加しましたが、今回第1章で追加した IoT・ビッグデータ・AI のところと合わせてお読みください。
- 第8章** コネクション型通信とコネクションレス型通信の違い、IP ネットワーク (IP 網) の説明、IPv4 アドレスの具体的な割当て方法、送信元ポート番号と宛先ポート番号の意味、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の説明などを追加しました。
- 第9章** ランサムウェア、エクスプロイト、ショルダハッキングなど、日常でも頻繁に耳にするようになった用語の説明を追加しました。また、暗号化技術と、認証技術については、基礎技術と応用技術を分けて記載することで、原理原則と実際の利用例を整理してとらえられるようにしました。
- 第10章** SAN と NAS の説明を第3章から本章の RAID の説明の後に移し、データのインテグリティに関して、チェックディジットチェック計算法の具体形な説明を追加しました。誤り制御の説明のうち、磁気テープ装置の誤り制御を削除して、説明を簡素化しました。
- 第11章** これまで独立して扱っていたプロジェクトマネジメント、サービスマネジメント、システム監査を、システム開発とともに情報システムのシステムライフサイクル中に欠かせない活動として整理しました。また、標準化や法令について、最新の動向に合わせて見直しました。

主要目次 *Contents in Brief*

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 106

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..... 320

CHAPTER 7

ファイル編成とデータベース

File Organizations and Database 404

CHAPTER 8

通信ネットワークシステム

Computer Networks and Telecommunications 462

CHAPTER 9

情報セキュリティ

Information Security 538

CHAPTER 10

情報システムと RASIS

Information Systems and RASIS 576

CHAPTER 11

情報システムの開発

Development of Information Systems 614

写真提供 *Photos offered by* 685

用語 *Index* 686

参考文献 *Bibliography* 700

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 38

What is Information?
情報とは …………… 38

Concept of Information Processing
情報処理の基本形 …………… 39

Concept of Information Systems
情報システムの基本概念 …………… 39

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 …… 41

Information Processing by Human Beings
人間の情報処理行為 …………… 43

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 …… 43

The Origin of "Jouhou" in Japan
情報という言葉の語源 …………… 45

3. Types and Capabilities of Computers

コンピュータの種類と能力 …………… 46

Types of Computers
コンピュータの種類 …………… 46

Capabilities of Computers
コンピュータの能力 …………… 51

4. Components of Communications

コミュニケーションの構成要素 …………… 53

How to Make good Communications
コミュニケーションをうまく行うには …… 53

Conditions for good Communications
コミュニケーションが成り立つ条件 …… 54

Information Technologies and Communications
情報技術とコミュニケーション …………… 55

Functions of Network Systems
ネットワークの機能 …………… 56

Components of Communication Systems
コミュニケーションシステムの構成要素 …… 57

5. Components of a Computer System

コンピュータの構成要素 …………… 58

Five Major Computer Functions
コンピュータの5大機能 …………… 58

Data and Control Flows
データの流れとコントロールの流れ …… 60

6. Information Systems in Our Society

現代社会における情報システム …………… 61

Information Systems in Business
企業における情報システム …………… 61

Types of Information Systems in Business
企業における情報システムの分類 …… 65

Developing IS for Solving Business Problems
問題解決のための情報システムの開発 …… 68

Software Crisis and System Development Methods
ソフトウェア危機とシステム開発手法 …… 72

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

Hardware Pyramid & Software Pyramid
ハードウェアピラミッドとソフトウェアピラミッド… 88

Microcomputers Evolution
マイクロコンピュータの出現と発展 …… 89

8. Perspective of Information Systems in 2020s

2020年代における情報システムの展望 …… 92

Underlying Information Technologies
2020年代までの情報システムを決定する基盤技術… 92

Cloud Computing
クラウドコンピューティング …………… 99

IoT · Big Data · AI
IoT · ビッグデータ · AI …………… 101

CHAPTER 2

Input/Output Devices 入出力装置106

1. Overview of Input/Output Devices

入出力装置とは	108
Data Expression データの表現	108
Function of Input/Output Devices 入出力装置の機能	109
Input/Output Interface 入出力インタフェース	110

2. Input Devices

入力装置	111
Keyboard キーボード	112
Pointing Devices ポインティングデバイス	112
Optical Barcode Reader バーコードリーダ	114
Optical Character Reader OCR (光学的文字読取り装置)	115
Optical Mark Reader OMR (光学的マーク読取り装置)	116
Magnetic Ink Character Reader MICR (磁気インク文字読取り装置)	116
Digitizer ディジタイザ	117
Image Scanner イメージスキャナ	117
3D Scanner 3D スキャナ	118
Camera カメラ	118
Voice Recognizing Unit 音声認識装置	118
Authentication Devices 認証装置	119
New Media of Card カードのニューメディア	119
Sensor センサ	121

3. Output Devices

出力装置	122
Display ディスプレイ (表示装置)	122
Projector プロジェクタ	125
Digital Signage デジタルサイネージ	125
Printer プリンタ (印字装置)	126
Plotter プロッタ (作図装置)	131
3D Printer 3D プリンタ	132

4. Multimedia

マルチメディア	134
Multimedia マルチメディア技術	134
Image 画像	135
Sound サウンド	136
Data Compression データ圧縮技術	137
Multimedia Application マルチメディア応用	138

5. User Interfaces

ユーザインタフェース	141
Overview of User Interfaces ユーザインタフェースとは	141
Usability ユーザビリティ	141
Interactive Processing Support Features 対話処理の援助	142
GUI and its Components GUI とその構成部品	143
Barrier Free and Universal Design バリアフリーとユニバーサルデザイン	144
Accessibility アクセシビリティ	145
Heuristic ヒューリスティック	146

目次 Contents

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
Disk Cache ディスクキャッシュ	177
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	178

Solid State Drive ソリッドステートドライブ	179
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	180
Floppy Disk フロッピーディスク	180

5. Optical Disc

光ディスク	182
Compact Disc Read Only Memory CD-ROM (読出し専用型光ディスク).....	182
Magneto-Optical Disc 光磁気ディスク (書換え型光ディスク).....	184
Digital Versatile Disc DVD	184
Blu-ray Disc ブルーレイディスク	185

6. Other Storages

その他の記憶装置	187
Magnetic Tape Unit 磁気テープ装置	187
Cartridge Tape Library Device カートリッジテープライブラリ装置	189
Semiconductor Memory 半導体記憶装置	190
Flash Memory Card カード型フラッシュメモリ	190
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	231
Advanced Control	
先行制御	231
Pipeline Control	
パイプライン制御	232
Parallel Processing	
並列処理	233
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	235
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 10 Windows 8, Windows 10	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り込み	262
Multi-Programming マルチプログラミング	262
Interrupt 割り込み	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	274
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	282
Real Memory Management 実記憶の記憶管理	282
Types of Virtual Memory 仮想記憶方式	285

6. Language Processor

言語プロセッサとその他のプログラム	290
Assembler アセンブラ	290
Compiler コンパイラ	290
Interpreter インタプリタ	293
Generator ジェネレータ	293
Variety of Programming Languages プログラム言語のいろいろ	293
Open Source Software オープンソースソフトウェア	300
Service Programs サービスプログラム	302
Characteristics of Programs プログラムの性質	304

7. Current Virtualization Technology

現在の仮想化技術	307
Virtual Machine 仮想マシン	307
Storage Virtualization ストレージ仮想化	309
Client Virtualization クライアント仮想化	310

CHAPTER 6

Theory of Information Processing Technologies 情報処理技術の基礎と理論320

1. Data Representation

コンピュータ内のデータ表現	322
Decimal Number	
10 進数	322
Binary Number	
2 進数	323
Hexadecimal Number	
16 進数	325
Octal Number	
8 進数	326
Calculation of Radix Conversion	
基数変換の計算	327
Binary Number Range	
2 進数の表現範囲	329
Fixed-point Number	
固定小数点数	329
Floating-point Number	
浮動小数点数	333
Decimal Data Expression	
10 進数データの表現	336
Character Data and Coding Scheme	
文字データとコード体系	338
Detecting Code Errors	
誤差対策	341

2. Fundamentals of Information Theory

情報の基礎理論	344
Data and Information	
データと情報	344
Logic	
論理	345
Logical Operation	
論理演算	345
Predicat Logic	
述語論理	348
Set	
集合	348
Bit Operation	
ビット演算	349
Graph Theory	
グラフ理論	350
Queueing Theory	
待ち行列理論	352

3. Fundamentals of Program Theory

プログラムの基礎理論	353
Turing Machine	
チューリング機械	353
Automaton	
オートマトン	355

Theory of Computation	
計算の理論	356
Theory of Computability	
計算可能性の理論	356
Theory of Computational Complexity	
計算複雑性の理論	358

4. Data Structure and Algorithm

データ構造とアルゴリズム	359
Importance of Data Structure and Algorithm	
データ構造とアルゴリズムの重要性	359
Data Structure	
データ構造	359
Array	
配列	360
Structure (Record)	
構造体 (レコード)	360
List Structure	
リスト構造	361
Tree Structure	
木構造	363
Queue and Stack	
待ち行列とスタック	369
Algorithm	
アルゴリズム	370

5. Theories of Storage and Arithmetic Operation

記憶と演算の原理	376
Switching Circuit and Logic Circuit	
スイッチ回路と論理回路	376
Logic Circuit	
論理回路の実現	378
Flip-Flop Circuit	
フリップフロップ回路	380
Adder	
加算回路	380

6. Interaction between Hardware and Software

機械語プログラムの実行 - CASL II を使って	383
COMET II and CASL II	
COMET II と CASL II	383
Assembly of Program	
プログラムのアセンブル	386
Execution of Program	
プログラムの実行	386

7. Theory of Instrumentation and Control

計測・制御に関する理論	391
Signal Processing	
信号処理	391
Theory of Control	
制御に関する理論	392

CHAPTER 7

File Organizations and Database ファイル編成とデータベース404

1. Overview of Files

ファイルとは	406
Types of Files ファイルの種類	406
Access Mode of Files ファイルのアクセス方法	407

2. File Organizations

ファイル編成	409
About File Organizations ファイル編成について	409
Sequential Organization File 順編成ファイル	410
Indexed Sequential Organization File 索引順編成ファイル	411
Direct Organization File 直接編成ファイル	412
Partitioned Organization File 区分編成ファイル	415
Virtual Storage Access Method File VSAM 編成ファイル	416
File System ファイルシステム	418
File System Structure ファイルシステムの構造	418

3. Database

データベース	421
Information Systems before Database データベース以前の情報システム	421
Overview of Database データベースとは	421
Types of Database データベースの種類	422
Data Normalization データの正規化	424

4. Database Management System

データベース管理システム	430
Functions of DBMS データベース管理システムの機能	430

5. Utilization of Database and SQL

データベースの利用と SQL	435
Overview of SQL SQL とは	435
Description of Schema スキーマを定義する	435
Access to Database データベースにアクセスする	438

6. Administration of Database

データベースの運用	443
Recovery 障害回復機能	443
Restructuring and Reorganization データベースの再構成と再編成	448

7. Trends of Database Technologies

データベース技術の動向	449
Distributed Database 分散データベース	449
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	450
Database for Decision Support Systems 情報系システムのデータベース	451
Big Data ビッグデータ	452

CHAPTER 8

Computer Networks and Telecommunications 通信ネットワークシステム……………462

1. Fundamentals of Telecommunications

テレコミュニケーションの基礎 ……………	464
History of Computer Networks and Telecommunications 通信ネットワークシステムの変遷 ……………	464
Network Systems in Today and New Future これからの通信ネットワークシステム ……	466

2. Fundamentals of Data Transmission

データ伝送の基礎 ……………	468
Components of Network System 通信ネットワークシステムの構成要素 ……	468
Data Representation and Code 情報の表現と符号 ……………	468
Fundamentals of Data Transmission Technologies 伝送技術の基礎 ……………	469
Physical Connection Mode 回線の接続方式 ……………	475
Data Transmission Protocol 伝送制御手順 ……………	476
Circuit Capacity Design 回線に関する計算 ……………	480
Network System Configuration 通信ネットワークシステムの構成装置 ……	482

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 …	485
Network Architecture and Protocols ネットワークアーキテクチャとプロトコル …	485
Standardization of Network Architecture ネットワークアーキテクチャの標準化 ……	485
OSI Basic Reference Model OSI 基本参照モデル ……………	486
TCP/IP Protocol Suite TCP/IP プロトコル体系 ……………	489
Basic Concepts of Telecommunication 通信の基本概念 ……………	490

4. Trends of Telecommunication Networks

通信ネットワークの動向 ……………	494
Telecommunication Networks until 20th Century 20 世紀までの通信ネットワーク ……………	494
New Telecommunication Services 新しい通信ネットワークサービス ……………	496

5. System of Local Area Network

LAN の方式 ……………	503
Overview of LAN LAN とは ……………	503
Topologies of LAN LAN の接続形態 (トポロジ) ……………	505
Access Control Methods アクセス制御方式 ……………	506
Wireless LAN 無線 LAN ……………	508
Interconnection of LANs LAN 間接続 ……………	511

6. TCP/IP and Internet

TCP/IP とインターネット ……………	514
Internet インターネット ……………	514
TCP/IP TCP/IP ……………	514
IP Address IP アドレス ……………	515
TCP and UDP TCP と UDP ……………	521
Internet Mail Protocols 電子メールプロトコル ……………	523
Web Access Web アクセス ……………	525
Other Service Protocols その他のプロトコル ……………	528
Network Management ネットワーク管理 ……………	530

CHAPTER 9

Information Security 情報セキュリティ538

1. Concept of Information Security

情報セキュリティの概念 540

Threat
脅威 540

Disaster
災害 541

Cyber-Attack
サイバー攻撃 541

2. Technologies of Information Security

情報セキュリティに関する技術 548

Fundamental Technology of Encryption
暗号化に関する基礎技術 548

Fundamental Technology of Authentication
認証に関する基礎技術 550

Application of Encryption and Authentication
暗号技術、認証技術の応用 552

Access Control Technology
アクセス制御技術 556

3. Solutions for Information Security

情報セキュリティのための具体的解決策... 558

E-Mail Security
電子メールのセキュリティ 558

Web Security
Web のセキュリティ 559

Database Security
データベースセキュリティ 560

Virtual Private Network
VPN 561

4. Management of Information Security

情報セキュリティ管理 562

Risk Management
リスク管理 562

Physical Security Measures
物理的セキュリティ対策 564

Disaster Recovery
ディザスタリカバリ 565

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... 566

Standardization and Laws
標準化と法律 566

CHAPTER 10

Information Systems and RASIS 情報システムと RASIS576

1. Information Processing Method

情報の処理方式	578
Various Processing Methods いろいろな処理方式	578
Batch or Interactive バッチか対話型か	580
Client / Server System クライアントサーバシステム	581

2. Reliability of Information Systems

情報システムの信頼性	584
Concept of RASIS RASIS とは	584
System Configuration to Improve System Reliability 信頼性向上のためのシステム構成	585
Operating Ratio システムの稼働率	589
Operating Ratio for Multi-Systems 複数システムの稼働率	590
Fail soft and Fail safe フェールソフトとフェールセーフ	590
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	591
Fool proof フルプルーフ	591

3. Data Integrity and Error Control

データのインテグリティと誤り制御	593
Data Integrity データのインテグリティ	593
Error Control 誤り制御	595
Error Control Methods 誤り制御方式	596
Redundant Array of Independent Disks RAID	599
Storage Area Network and Network Attached Storage SAN と NAS	600

4. Evaluation of Computer Systems Performance

システムの性能評価	603
Performance Evaluation Index 性能評価の指標	603
Performance Evaluation Methods 性能評価の技法	604

CHAPTER 11

Development of Information Systems 情報システムの開発614

1. Concept of System Development

システム開発とは	616
Procedure of System Development	
システム開発の手順	616
Documentation	
ドキュメンテーション	619
Methodologies for System Development	
システム開発の方法論	620

2. Outline of System Development

システム開発の概要	623
Basic Planning	
基本計画	623
External Design	
外部設計	624
Internal Design	
内部設計	629
Program Design	
プログラム設計	632
Programming	
プログラミング	633
Testing	
テスト	637
Review	
レビュー	639
CASE (Computer-Aided Software Engineering) Tools	
CASE ツール	639

3. System Life Cycle

システムのライフサイクル	641
System Life Cycle	
システムのライフサイクル	641
Project Management	
プロジェクトマネジメント	645
System Administration and System Maintenance	
システム運用と保守	649
System Auditing	
システム監査	650
Corporate Governance	
コーポレートガバナンス	652

4. Structured Techniques

構造化技法	654
Concept of Structured Techniques	
構造化技法とは	654
Outline of Structured Techniques	
構造化技法の概要	655
Diagrams for Structured Design	
構造化設計で使われる表記法	657
Structured Programming	
構造化プログラミング	658
Structured Chart	
構造化チャート	659

5. Object-oriented Technique

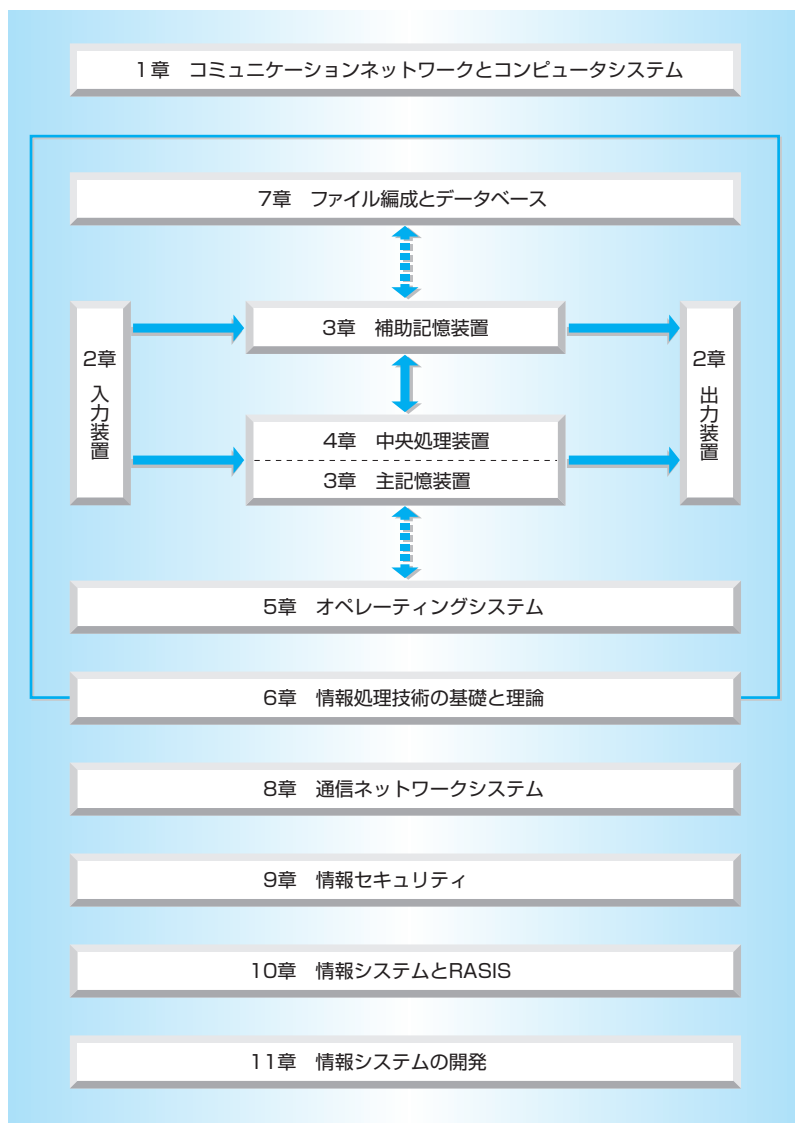
オブジェクト指向	662
Definition of Object	
オブジェクトとは	662
Classes and Instances	
クラスとインスタンス	662
Relationship between Classes	
クラス間の関係	663
Object-oriented technique for Program Development	
オブジェクト指向でのプログラム開発	664
Unified Modeling Language	
UML	665

6. Issues in Developing Information Society

情報化の課題	669
Standardization	
標準化	669
Law and Policy	
法制度	671

学習の前に

本書は、コンピュータシステムについての基本事項から応用事項までを、体系的に、全体から部分へと学習が進められるように構成してあります。学習の前に本書の特徴をよく理解してください。



本書の全体構成図

- 本書は、大きく分けると2部構成になっています。
第1章は、コンピュータシステムを学ぶうえで必要となる情報社会との接点、情報技術の進展、コンピュータシステムの発展の歴史と基礎事項の整理、将来の展望となっています。非常に幅広い内容の解説になっているので、始めは第3節「コンピュータの種類と能力」と第5節「コンピュータの構成要素」を学習し、他の節は後から読んで構いません。
第2章から第11章までは、データの流れにそって、ハードウェア、ソフトウェアを学習し、情報処理技術の基礎、データベース、ネットワーク、セキュリティ、情報システムの開発などを、深く学習していきます。なお、第6章「情報処理技術の基礎と理論」1節「コンピュータ内のデータ表現」は最初に学習することが多い内容ですが、本書ではハードウェア、ソフトウェアの学習後が望ましいと考え、その後で説明しています。
- 本文中で、ブルーの色がついている語句は、学習上重要なキーワードです。索引から検索することができます。
- 本文中の Memorandum は、説明の補足事項や関連事項を説明しています。適宜参照してください。また、〔研究〕は、ややレベルの高い詳細な内容を解説しています。全体の学習が終わった後で読んでください。
- 節の終わりにある「Check」は、学習の進行状況に合わせた基礎的な知識の理解度、見落とししている点などを確認するためのものです。解答できないときには、本文に戻って、内容を確認してください。
- 章末の「Case」は、学習した事柄を机上ではなく、屋外に出て、自分自身で確認する課題です。技術者として必要となるフィールドワークを行ってください。これによって、さらに楽しく、分かりやすく、学習が進められるはずです。
- 章末の「Mini Discussion」は、学習している事項に関連することを、さらに発展させて考えたり、ディスカッションしたりするための課題です。本書をはじめ、書物の世界に閉じこもらず、自由に考えてみてください。
- 各章の最後には「章末問題」を用意してあります。基礎的な復習用の問題から、基本情報技術者試験レベルまで幅広く問題を収めており、実力を試すことができます。最初は、解けそうな問題から挑戦してみてください。[応用]とある問題は少し難しいので、後回しにして構いません。

The page features several decorative elements: a large blue number '4' in the background, a smaller blue number '4' above the chapter title, a vertical line on the left, a vertical line on the right, and a horizontal dotted line below the right vertical line.

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、いろいろな形式をも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。

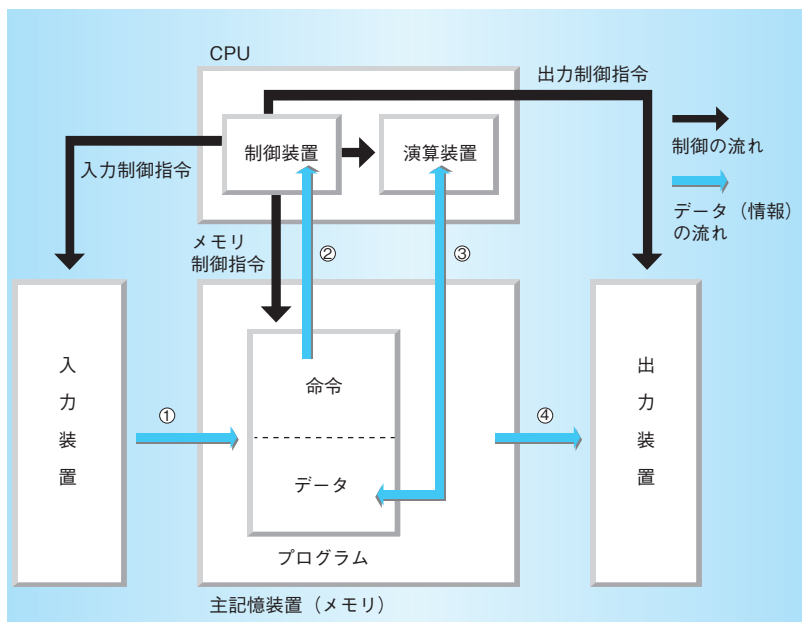


図 4-1 CPU の位置付け

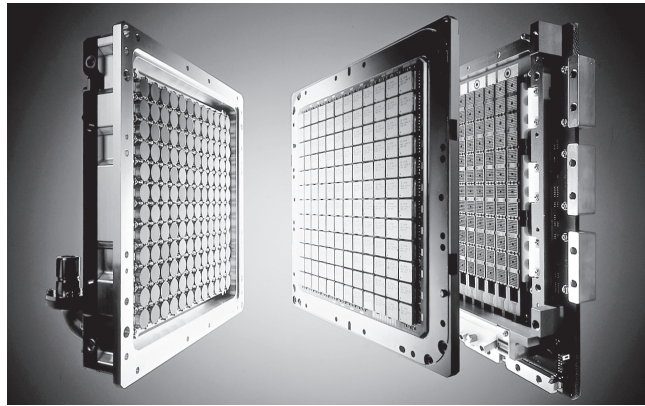


図 4-2 スーパーコンピュータの CPU

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

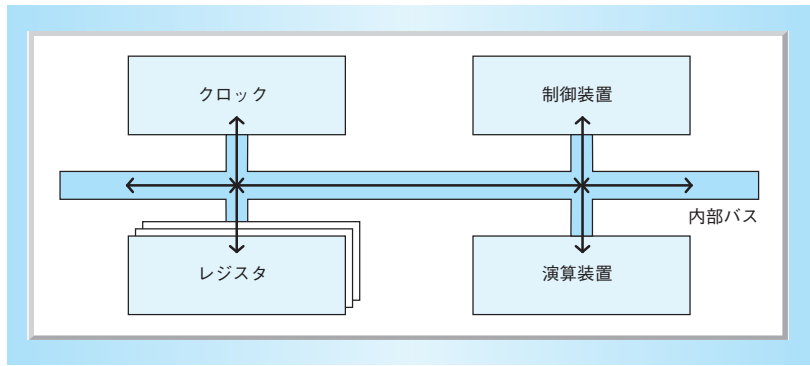


図 4-4 CPU 内部のバス

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。

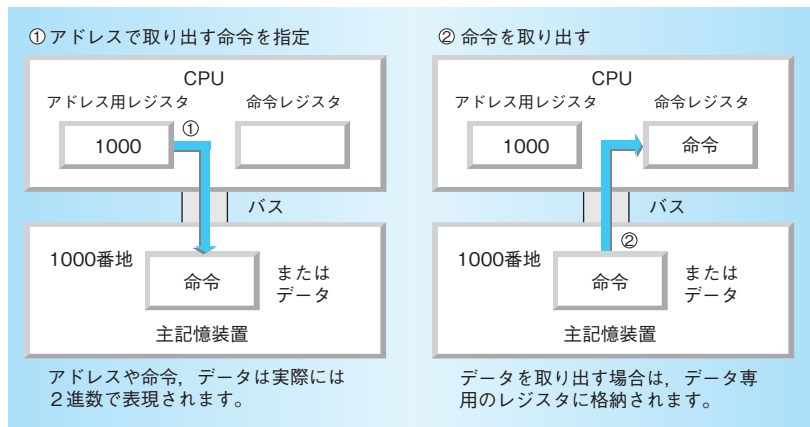


図 4-5 CPU と主記憶装置をつなぐバス

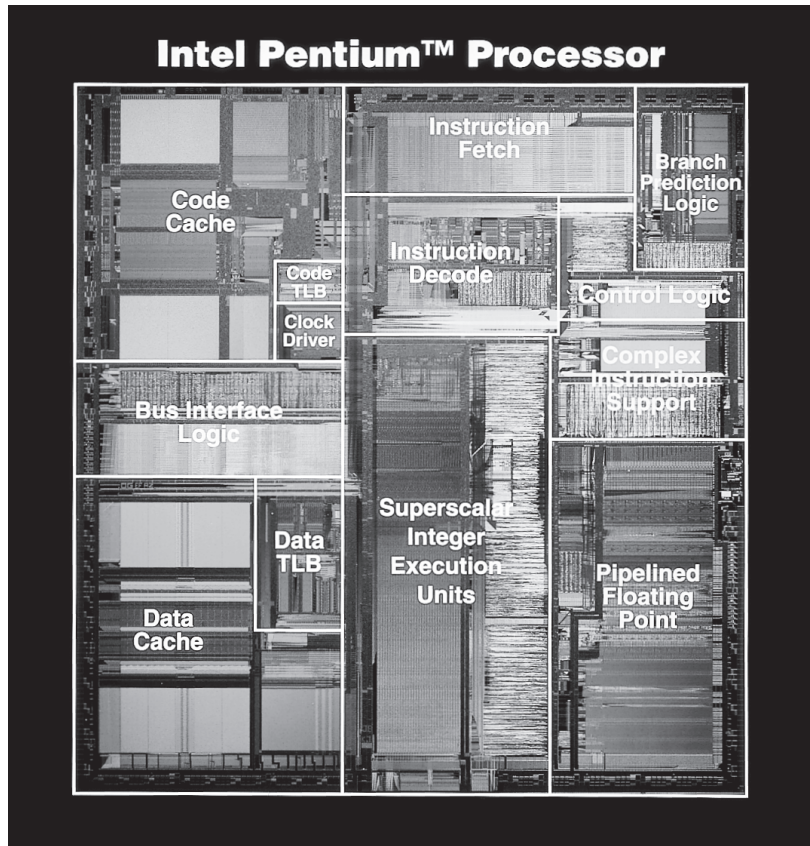


図 4-6 マイクロプロセッサを構成する要素

● 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ー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、もっとたくさん使わないのか考えてみよう。

Mini Discussion 4-3

インター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、仕事を進める方法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として、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 アクキュムレータ
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. アクセスタイムを速くするために、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

■問3 次の記述の中で正しいものには○、誤っているものには×をつけよ。

- ア 主記憶装置から取り出された命令は、命令レジスタに格納される。
- 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、直接アドレス方式という。
- ウ 演算結果を一時的に記憶しておくレジスタは、命令アドレスレジスタである。
- エ 浮動小数点数の演算を専用に行う演算回路は、まだ実現されていない。
- オ CPU内の動作は、クロックという単位時間ごとに進められる。

用語 *Index*

< 数字 >

0 の発見	78
10 進演算機構	221
10 進数	322
10 の補数	330
16 進数	325
1 アドレス命令	208
1 の補数	330
1 マシンサイクル	232
2 アドレス命令	208
2 進数	323
2 相コミット処理	447
2 の補数	330, 331
2 分木	366
2 分探索	374
2 分探索木	366
2 要素認証	554
3D スキャナ	118
3D プリンタ	132
3 アドレス命令	208
3 層クライアントサーバシステム	582
3 層スキーマ	431
5 大機能	58
8 進数	326
9 の補数	330

< A >

A/D 変換	391
Ada	296
ADSL	97, 495, 499
ADSL モデム	499
AES	548
AI	102, 348
ALGOL	294
ALU	220
AND	346
Android	259
AND 回路	377
ANSI	224, 670
ANSI/X3/SPARC の 3 層スキーマ	431
APL	297
AR	140
ARP	520
ARPA	465
ASCII コード	338
AVI	135
AVL 木	368

< B >

BASIC	85, 295
BCD	336
BCP	563
BETWEEN 述語	441
Bluetooth	225
BMP	135
BPR	61
BSDI	301
B 木	368
B 木インデックスファイル	417

< C >

C	296
C++	298
CA	553
CAD	117, 132
CAD/CAM	132
CAM	132
CAPTCHA	552
CASE	639
CASL II	384
CATV サービス	97
CC	566
CCD	164
CCITT	468
CCP	483
CCU	483
CD	167
CD-R	183
CD-ROM	182, 183
CD-RW	182, 183
CG	138
CGI	525
CIDR	517
CIM	64
CISC	236
CMYK	130
COBOL	84, 294
COCOMO	646
CODASYL	294
COMET II	383
COMMIT 文	447
cookie	526
CP/M	254
CPU	58, 200
CRC 方式	597

CRL	554
CRT ディスプレイ	124
CSMA/CA	509
CSMA/CD 方式	506
C 言語	86

< D >

D/A 変換	392
DAT	285
DATA	38
DBMS	430
DCE	482
DDL	431
DDoS 攻撃	545
DDR SDRAM	162
DDX パケット交換サービス	494
DES	548
DFD	657
DHCP	520
DIMM	163
DISTINCT 指定	439
DMA コントローラ	226
DMA 制御方式	226
DML	431
DMZ	556
DNS	524, 527
DNS サーバ	524
DoS 攻撃	545
DOS/V	256
dpi	117, 130
DRAM	162
DSS	61, 66
DSU	483
DTP	131
DVD	167, 184
DVD-R	184
DVD-RAM	182, 184
DVD-ROM	184
DVD-RW	184

< E >

EBCDIC コード	339
EC	61, 526
ECC メモリ	595
ECU	102
EDPS	61
EDSAC	82

CHAPTER 4

問1 a-ウ, b-オ, c-エ, d-ウ

d: 入出力チャネルは、主記憶上のチャネルプログラムによって動作する独立した専用の装置(コンピュータ)です。

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、あらかじめ磁気ディスクから必要なデータを移しておき、使用します。

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。

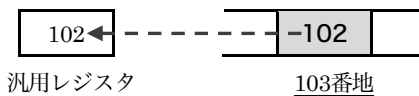
解答群(キ)のエンコーダは、入力信号から、2進数で表された信号などを出力する回路のことです。

問6 a-カ, b-イ, c-ア, d-エ, e-キ, f-ケ

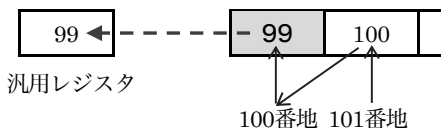
c: 主記憶装置と磁気ディスク装置の間に置く、高速のバッファ記憶装置をディスクキャッシュといっています。通常、複数の磁気ディスク装置を制御するディスク制御装置とともに利用します。

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。



c: LD/100+IX1……インデックスアドレス指定方式; インデックスレジスタの内容は3なので、 $100+3=103$ 番地が有効アドレスになります。

