

第2版 はじめに

マイクロエレクトロニクスの発展によって、コンピュータがますます高性能、低価格、小型化し、世の中至る所にコンピュータが存在する「ユビキタスコンピューティング」、また、地球上どこにでも浸透して存在を気にする必要がない「パーベイシブコンピューティング」の時代が到来した。現在のコンピュータの代表であるパソコン、タブレットコンピュータ、そして、ほとんどの人が利用しているスマホ、それらが、ネットワークを介して、Web サーバなどと、それぞれが有機的に関係しつつ、統合的にシステムを形作っている。

このように、コンピュータが単につながっているだけでなく、生活にかかわるいろいろなことがすべて何らかの形で、ネットワークを介して、コンピュータを利用するようになっており、これらの基本となるのが、本書で述べる分散システムである。この分散システムは、日進月歩の形で進歩しており、ソサエティ 5.0 も始まるファクトリーオートメーション、自動運転に代表される車載電子システムが現実のものとなってきた。それとともにビッグデータ、AI、5G といった新技術が日々開発されてきており、それに対応できるように、今回第2版を刊行することとした。

分散システムは、コンピュータとネットワークの両者を統合化するための技術であり、本来1台単独で動いていたコンピュータをネットワークで結び付けようとするものである。それも単に回線で結び付けるものでなく、複数のコンピュータを相互に有機的に結び付け、全体が巨大な情報システムとして動作させるものである。このような分散システムを実現するためには、各種の新しい技術が必要となってくる。これら技術を本書ではわかりやすく、かつ親切に説明している。

本書は、次の構成となっており、15週講義用の教科書として使用することを想定している。また、各章の終わりには演習問題を付け、読者の理解度を確認できるようにしている。

第1章では、分散システムについて、その役割、目的についてまず説明し、その後、分散透過性、開放性、そして、分散システムの制約について述べる。

第2章では、分散システムの種類として、分散コンピューティングシステム、分散情報システム、そしてパーベイシブシステムの3つをあげ、その観点から説明する。

第3章では、分散システムにおける基本となるネットワークについて、コンピュータネットワークの発展形態を紹介した後、コンピュータネットワークの基本概念となるネットワークアーキテクチャについて、ARPANETにおいて実現されたネットワークアーキテクチャの基本概

念である階層化，サービス，プロトコルについて紹介し，その後，OSI 基本参照モデルとその機能，TCP/IP 参照モデルとその機能を紹介します。最後にネットワークを介して，送信側と受信側でデータのやりとりをするために基本となるソケット通信におけるデータ送受方法について述べる。

第4章では，まず分散システムにおける名前付けに関する一般的な課題について述べる。次に，構造化されないフラットな名前付け，および，構造化された名前付けに関する主要技術について説明する。最後に，エンティティがもつ属性に基づく，属性ベースの名前付けについて述べる。

第5章では，分散システムを実現するアーキテクチャについて，アーキテクチャの型として，階層型，オブジェクトベース，データ中心型，イベントベースの4つのアーキテクチャを紹介した後，システムアーキテクチャとして，集中型アーキテクチャと分散型アーキテクチャ（垂直・水平）について述べる。

第6章では，プロセスとスレッドが分散システム上でどのように実現されているかを述べ、続いて，仮想化技術に関して，ハードウェア，OS，そして，ミドルウェアの3つのレベルから述べる。また，コードを他のマシン上で動作させるコードマイグレーション技術を紹介する。

第7章では，分散システム構築において最も基本となるクライアントサーバモデルを述べる。クライアントサーバモデルは，クライアント側とサーバ側からその実現技術を述べている。また，クライアントサーバモデルを実現するための基本方式であるリモート手続き呼び出しについて述べる。リモート手続き呼び出しは，ネットワークを介して，プロセスを実行させるものであり，クライアントとサーバ間でパラメータの受け渡し方法などを述べる。

第8章では，ネットワークを介してプロセスの同期方法について，まず時計の概念を紹介後，時計に求められる要件と，時計合わせをするためのプロトコル NTP について述べる。続いて，同期の必要性を述べた後，セマフォによる同期，デッドロックなどについて述べる。

第9章では，信頼性をあげるために必要なフォールトトレラント性について，プロセスの回復力，高信頼クライアントサーバ間通信，高信頼グループ間通信，分散コミットおよび回復について述べる。

第10章では，セキュリティに関して，まず情報セキュリティの特性を紹介後，暗号，セキュアな通信路，アクセス制御およびセキュリティ管理について述べる。

第11章では，分散ファイルシステムのアーキテクチャについて述べた後，その事例としては，NFS，Google File System，Hadoop，Chord，Gluster FS，および Open Stack Swift を紹介する。また，分散オブジェクトの概念とその技術を紹介します。

第12章では，分散 Web システムについて，歴史，基本構成，形態について説明し，次に分散 Web システムで用いられているプロトコルである HTTP について述べる。続いて，実用的な分散 Web システムを実現する工夫と分散 Web システムの新たな展開を紹介する。

第13章と第14章では，分散システムが実際にどのように構築展開されているかを述べる。まず，第13章では，パーベイシブシステムと分散組み込みシステムを概括後，組み込みシステムにおける分散処理，OS と割り込みの関係を述べた後，密結合型マルチプロセッサでの排他

制御を中心とする実現方式を紹介する。次に、第 14 章では、共有メモリ型密結合型マルチプロセッサ構成のシステムにおける排他制御の具体的な実現方法を紹介する。

第 15 章では、分散システムの構築事例を紹介する。最初に、工場の生産・製造システムに有効なファクトリーオートメーション (FA: Factory Automation) について、続いて、自動車の車載電子システムについて述べる。車載電子システムは多くのコンピュータを利用した高度の分散システムとなっている。最後に、従来はコンピュータシステム、分散システムとはあまり関係がなかった電力システムについて、スマートメーターを中心に述べる。

なお、第 2 版の主な改訂点は以下となっている。

- (1) 「通信」と「名前付け」に関する技術が、分散システムを理解するうえで基盤的な技術であるにもかかわらず、第 6 章、第 7 章に置かれていたが、第 2 版では、第 3 章と第 4 章に前倒している。
- (2) 「同期」および「複製と一貫性」に関する章が、第 1 版では、第 8 章と第 9 章に分かれていたが、第 2 版では時間に焦点を合わせて一体化し、新たに第 8 章としている。
- (3) 新たに分散システムの事例を紹介する新たな章として、第 15 章を新規追加している。

分散システムに関しては、そのベースとなるものがコンピュータネットワークであり、本書学習にあたっては事前学習の方がよい。コンピュータネットワークに関しては、本書の“未来へつなぐデジタルシリーズ 17 巻”『コンピュータネットワーク概論』などを参考にされたい。また、分散システムに関しては、“Andrew S. Tanenbaum and Maartem Van Steen: DISTRIBUTED SYSTEMS—Principles and Paradigms Second Edition, Pearson Prentice Hall (2007)”に技術的な詳細が記載され、その訳書として、『分散システム—原理とパラダイム 第 2 版』（水野ほか訳、ピアソン・エデュケーション (2009)) があったが、現在廃版となっており、本書はその導入・紹介書も兼ねている。

本書をまとめるにあたって大変なご協力をいただきました。“未来へつなぐデジタルシリーズ”の編集委員長の白鳥則郎先生、編集委員の高橋修先生、岡田謙一先生、および編集協力委員の片岡信弘先生、松平和也先生、宗森純先生、村山優子先生、山田園裕先生、吉田幸二先生、ならびに共立出版編集制作部の方々に深くお礼を申し上げます。

2019 年 5 月

著者代表 水野忠則