

無線通信工学の基礎と演習

博士(工学) 吉野純一 編著
博士(理学) 山下幸三
博士(工学) 吉田将司 共著
博士(工学) 水谷浩一
博士(工学) 斉藤成一

コロナ社

ま え が き

電気通信の幕開けは電信の分野で始まり、ついで電話へと発展していった。1890年（明治23年）12月16日、東京155加入、横浜42加入の加入者を対象として東京―横浜間で日本の電話事業はスタートし、その後驚異的な進展を示した。120年以上たった今日は、携帯電話に代表される移動通信を始め、あらゆる場面で通信というものが生活の中に混在し、子供から高齢者に至るまでの世代でも使用する身近な存在となった。

このように華々しい電気通信の発展を支えてきた電気通信技術の分野では技術革新の進歩がきわめて早く、新技術が続々と実用化されている。このため、その全貌を把握することが近年ますます困難になりつつある。本書はこのような認識の上に立って、無線通信を中心として、基礎から無線装置設計までを演習を通じて体得してゆく今までの通信工学の本にないスタイルの教科書として執筆した。また、本書は、初めて通信工学を学ぼうとしている高専、大学の学生を意識して書かれたものであることはもちろんであるが、すでに通信工学を一度は学んでいても、実感として理解できなかった人にとっても復習書として最適である。さらに企業の設計技術者にとっては参考書として役立つものである。

本書の構成は、1章で有線・無線通信の歴史、有線・無線通信技術についての基礎を述べ、2章では電波伝搬のさまざまな現象説明、マックスウエルの電磁方程式、3章では無線装置の構想設計として、通信回線設計、アナログ・デジタル変調方式、通信路の多重化について述べている。4章、5章は無線装置詳細設計として、分布定数回路、伝送線路、アンテナ、ノイズ、EMC設計について述べている。これらの各章は、いずれも例題を通じて理解することを念頭に置き、さらに各章に章末問題を設けて、より理解が深まるようになってい

る。例題や章末問題の解答はできる限り読者の理解が深まるよう丁寧に執筆した。

この本を使用する読者が、高度情報化社会を支える 21 世紀の通信工学の発展に大きく貢献されることを心から期待するところである。最後に本書の執筆出版にあたり、構想から目次作成、執筆終盤まで大変お世話になったコロナ社の方々に感謝する次第である。

2014 年 7 月

編著者 吉野 純一

目 次

1. 序 論

1.1 通信の目的と電気通信	1
1.2 通信の歴史	2
1.2.1 電気通信の年表	2
1.2.2 電気通信に活躍した人びと	3
1.2.3 有線通信の歴史	6
1.2.4 無線通信の歴史	6
1.3 通信系のモデル	7
1.4 通信技術の基礎	8
1.4.1 有線通信技術	9
1.4.2 無線通信技術	24
1.5 通信ネットワーク	30
章 末 問 題	31

2. 電 波 伝 搬

2.1 マックスウェルの電磁方程式	33
2.1.1 ベクトルの基本演算	34
2.1.2 電束密度と磁束密度に対するガウスの法則	35
2.1.3 ファラデーの電磁誘導の法則	36
2.1.4 アンペールの周回積分の法則	38
2.1.5 変位電流の導入	40
2.2 平面電磁波	43
2.2.1 平面波の性質	43
2.2.2 波動方程式	46

2.3 電波伝搬の基礎	49
2.3.1 電波伝搬の様式	49
2.3.2 電波伝搬における諸現象	51
章 末 問 題	56

3. 無線装置の構想設計

3.1 仕様の検討	58
3.2 通信回線設計	59
3.2.1 回線計算の基本モデル	59
3.2.2 アナログ通信の回線計算	61
3.2.3 デジタル通信の回線計算	64
3.3 アナログ変調方式	67
3.3.1 振幅変調	67
3.3.2 周波数変調	70
3.3.3 位相変調	73
3.4 デジタル変調方式	73
3.4.1 ASK	75
3.4.2 FSK	76
3.4.3 PSK	78
3.4.4 QAM	81
3.5 通信路の多重化	81
3.5.1 FDMA	81
3.5.2 TDMA	83
3.5.3 CDMA	85
章 末 問 題	87

4. 無線装置の詳細設計（1）

4.1 回路基板設計	89
4.1.1 分布定数回路	89
4.1.2 伝送線路	92
4.2 アンテナ	101

4.2.1 電磁波の発生	101
4.2.2 アンテナの基礎	104
4.2.3 指向性アンテナ	117
章 末 問 題	125

5. 無線装置の詳細設計 (2)

5.1 ノイズ	126
5.1.1 ノイズと EMC	126
5.1.2 ノイズの種類	134
5.1.3 受信システムにおける SN 比と雑音指数	145
5.1.4 シャノンの定理と変調方式	150
5.2 EMC 設 計	156
5.2.1 グラウンド	156
5.2.2 シールド	163
5.2.3 シグナルインテグリティ	174
章 末 問 題	181

参 考 文 献	189
章末問題解答	192
索 引	211

1

序

論

通信は、会話、文章、画像などにより相手に情報を伝達することをいう。この伝達する技術には有線通信と無線通信があるが、今日の無線通信の発展は目覚ましいことである。この電波を用いた無線通信は、われわれの日常生活にとって欠かせないものとなっている。これらの技術を考えるにあたり、本章では、通信工学の目的、通信の歴史、有線通信、無線通信の基本技術について述べ、全章の基礎部分を例題、演習を通じて学ぶ。

1.1 通信の目的と電気通信

通信 (communication) とは、もともと人と人とが意志 (will) や情報 (information) を伝達 (communicate) することである。複数による会話は、音声通信の始まりといえるが、離れた場所での通信には、古くは「太鼓の音」や「のろし」などのように聴覚や視覚といった人間の五感へ刺激を与えるような合図を送る方法も用いられていた。文字による情報伝達手段としての郵便も古くから行われ、人や馬、近代になっては汽車、船、航空機など各種輸送機関によって手紙を送るこの方法は、現代もお通信の一手段として利用されている。

これらの通信方法は、情報を伝達できる距離に制限があり、伝達に非常に時間がかかるのが最大の欠点であった。人は距離と時間との制約を克服して、どんな距離でも直ちに通信できることを望んだ。この目的に最も合致するのが、

電気を用いて情報を伝達する電気通信である。導線を流れる電流や空間を伝搬する電磁波を伝達的手段として使うので、遠距離でもほとんど瞬時に情報を伝達できる。電気通信は電信、電話の発明以来、急速な発展を遂げ、特に最近の携帯電話に代表される目覚ましい進歩によって、現在では地球上あるいは宇宙空間を含めて実時間の通信が可能となっている。

広義の通信の代表的なものは、アナログ的な郵便とデジタルな電気通信であるが、現代の通信の中ではデジタル通信は日常の社会生活において最も身近で重要な位置を占めている。一般に通信工学と呼ばれるものは、このデジタル通信に関する工学である。また、「人と人とを結びつける」ことを助ける工学ともいえる。

1.2 通信の歴史

電気は導体の中や空中を何よりも速く伝わる性質がある。この性質を利用して行われる通信が電気通信である。その歴史は、モールスによる 1885 年のモールス電信の発明後、急激に進歩した。現在の電気通信は、電話をはじめとして放送、インターネット、宇宙通信など、さまざまな分野で利用されているが、ここでは電気通信の発展に寄与した人びとについて理解を深め電気通信の流れを簡単に述べる。

1.2.1 電気通信の年表

表 1.1 は、電気通信に関する発明などをまとめたものである。モールス電信以前にも、ホイットストン、クックらによってさまざまな通信方法が考えられ、実際にも使われていた。

表 1.1 おもな電気通信年表

年	項目	日本の出来事	世界の出来事
1831	ファラデー 電磁誘導現象発見		
1837	モールス モールス式電信機を組み立て 公開実験		
1840	クックとホイーストンが5針式電信機を發明 ホイーストン ABC電信機を發明		アヘン戦争始まる
1851	フレッド ブレット兄弟が英仏海峡(ドーバー海峡)に海底ケーブル敷設(初の海底ケーブル敷設)		
1853		ペリー浦賀来航	
1855	ヒューズ 印刷電信機を發明		
1860		桜田門外の変	南北戦争始まる(1861年)
1866	大西洋海底ケーブル開通		
1868	ステアンズ 同時通信式電信機を發明	(明治1) 明治維新	
1869		東京-横浜電信業務開始	
1876	ベル 実用的電話開発		
1888	ヘルツ 電磁波存在確認		
1889	ストロジャ 自動交換機開発	東海道線全通	
1890		東京-横浜電話業務開始	
1895	マルコニ 無線通信方法開発	日清戦争(1894年)	
1900	プービン 装荷ケーブル開発		
1904	フレミング 2極管開発	日露戦争(1904年)	
1906	ド・フォレスト 3極管開発		
1910	スクウェア 搬送方式開発		第一次世界大戦(1914年)
1920	ピッツバーグに世界最初の放送局		
1925		東京放送局仮放送開始	
1926	ベアド テレビ実験成功(ニポウ方式)	浜松高等工業学校の高柳健次郎が浜工式テレビジョンの開発に成功	
1937	イギリス BCC テレビの世界初放送		
1938	リーブス PCM方式開発	太平洋戦争(1941年)	第二次世界大戦(1939年)
1945	電子計算機第一号開発(ENIAC)		
1948	ショックレー トランジスタ開発	NHK, テレビ実験	
1957	ソ連世界初の人工衛星打ち上げ(スプートニク)	テレビ放送開始(1953年)	

1.2.2 電気通信に活躍した人びと

現在ある電気通信は、数多くの人びとの研究によって発達してきた。ここでは、その中から代表的な5人の生い立ちや業績について簡単に述べる。

[1] ファラデー

マイケル・ファラデー (Michael Faraday, イギリス, 1791年9月22日～



図 1.1 マイケル・ファラデー

1867年8月25日、**図 1.1**) は、父は鍛冶屋である。子供のころ製本屋で働き、そこで本に接する。20歳を過ぎたころ、科学者 H. デービーの助手となり、科学者への道を歩み始める。20歳後半から力を認められるようになり、34歳の若さで王立研究所の所長となる。初めは科学に興味を持ち、特に電気分解に関して大きな業績を残している。その後、電気

に興味に移り、「電流を利用して機械力を作ること」に成功したのを皮切りにして、電磁誘導現象の発見にまで至った。晩年は光と電気との関係なども研究したが、宗教上の問題などで寂しい年を送った。

〔2〕 モールス

サミュエル・フィンリー・ブリース・モールス (Samuel Finley Breese Morse, アメリカ, 1791年4月27日～1872年4月2日, **図 1.2**) は画家であった。また、政治にも興味を持っていたが、40歳近くになって友人ジャクソンの影響を受け、電気、特に電信事業に興味を持つようになり、モールス電信を発明した。モールス電信は現在でも利用されているが、文字を長短の符号の組合せに直し、この長短に合わせて電流の断続を行って通信を行うものであり、当時としては画期的な発明であった。この開発に関する電気の知識は、ヘンリーから短期間で学んだようであり、さらに持ち前の努力と政治力を発揮して通信方法を発明しただけでなく、電信会社の設立も行った。



図 1.2 サミュエル・フィンリー・ブリース・モールス

〔3〕 ベル

アレクサンダー・グラハム・ベル (Alexander Graham Bell, アメリカ, 1847年3月3日～1922年8月2日, **図 1.3**) は、イギリスにおいて、言語や音声

の研究家として伝統のある家に生まれた。1871年アメリカに渡り、ボストン大学で発声生理学を教えるようになったことから機械による音声を研究するようになり、ついに1876年、電流によって鉄板を振動させ、音波を出すことに成功した。すぐに特許を取ったベルは、同年フィラデルフィアでのアメリカ独立百年祭にこの電話機を出したため、この発明はすぐに世界へ広がるようになった。その後、

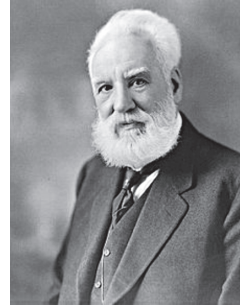


図1.3 アレクサンダー・グラハム・ベル

ベル電話会社を設立し、電話産業に力を入れたが、同じアメリカ人のエジソンのいるウエスタンユニオン社といろいろな面で競争するようになった。

〔4〕 マルコーニ

グリエルモ・マルコーニ (Guglielmo Marconi, イタリア, 1874年4月25日～1937年7月20日, 図1.4) は富裕な家庭に育った。物理学を学ぼうちに、ヘルツの発見した電磁波に興味を持ち、通信に利用することを考えた。初めの装置は簡単なものであり、通信距離も家の中から庭先までというものであったが、しだいに距離を延ばすことに成功し1898年には約30 kmの通信に成功している。このころから通信を営業用に用いることを考え、さらに1901年には地球上の見えない所への無線通信にも成功するまでに改良した。



図1.4 グリエルモ・マルコーニ

〔5〕 フレミング

ジョン・アンブローズ・フレミング (Sir John Ambrose Fleming, イギリス, 1849年11月29日～1945年4月18日, 図1.5) は、牧師の子として生まれた。大学時代にマックスウェルのもとで電気実験をいろいろと試みていた。その後、1880年代にはエジソン社の顧問となり、電灯工業の発達について研究



図 1.5 ジョン・アンブローズ・フレミング

をし、さらに 1890 年代にはマルコーニとともに無線通信についての共同研究を始めている。この 2 人の研究を手伝う中からエジソンの発見した「エジソン効果」とマルコーニの「無線検波器」を結び付けようとフレミングは考え、有名な 2 極管の発明をした。しかし、この 2 極管も検波器としては、当時の電解式検波器よりも感度が悪いものであった。

1.2.3 有線通信の歴史

有線通信方式は、裸線・平衡ケーブル・同軸ケーブルあるいは光ファイバケーブルなどの有線媒体を通して、遠隔地へ情報を伝送する方式である。その幕開けは電信の分野で始まり、ついで電話へと発展していった。当初は鉄線、つぎに銅線を電柱に架設した裸線路が用いられたが、裸線は自然にさらされていて風雨その他の影響を受けやすく、安定した通信を提供するには不適當であった。その後、この欠点を改良した各種のケーブルが発明され、現在広く使われている。また、これと並行して伝送線路の有効利用を図るため、一対の導体を通して複数の信号を伝送する多重伝送方式が開発された。多重化の方法は、周波数分割多重 (frequency division multiplex, FDM (アナログ方式)) と時分割多重 (time division multiplex, TDM (デジタル方式)) とに大別される。FDM による電話伝送は搬送電話とも呼ばれている。

1.2.4 無線通信の歴史

無線通信方式は、電波を利用して遠隔地へ情報を伝送する方式である。電波とは空間または伝送路内を伝搬していく電磁波のことであり、一般には電磁波の波長の長い部分 (0.1 mm 以上) を電波という。今日、無線通信はわれわれの日常生活にとって欠かせないものとなっており、テレビジョンやラジオを始め、携帯電話、航空機・列車電話、さらにインターネットなどの移動体通信と

索 引

	<p>拡張されたアンペールの 周回積分の法則 41 過渡ノイズ 127, 139 加法性通信路 9 雷放電 138 貫通電流 142</p> <p style="text-align: center;">【き】</p> <p>危険防止 157 疑似雑音符号 86 基準点 157 基本波 132 逆拡散 86 逆相配列 120 共役インピーダンス整合 108 共通インピーダンス 159 近傍界 164 近傍電磁界 103</p> <p style="text-align: center;">【く】</p> <p>空間インピーダンス 164 空間多重化 155 グラウンド 156, 157 グラウンド強化 160 クロストーク 13, 14, 142</p> <p style="text-align: center;">【け】</p> <p>結合波 14</p> <p style="text-align: center;">【こ】</p> <p>高域通過フィルタ 15 光速度 100 広帯域伝送 175 高調波 132 高調波スプリアス 143 高調波ひずみ 143 コプレーナ導波路 99</p>	<p>コンスタレーション 144, 152 コンダクタンス 179 混変調 141, 143</p> <p style="text-align: center;">【さ】</p> <p>サイドローブ 29 左旋円偏波 117 雑音 126 雑音温度 149 雑音指数 145 雑音入力電力 146 残留側波帯 20</p> <p style="text-align: center;">【し】</p> <p>シュルクノフ 171 ——の理論 171 磁界 164 時間領域 130 磁気シールド 163, 168 磁気抵抗 168 シグナルインテグリティ 145, 174 指向性の積の原理 119 指向性利得 109 自己妨害 13 自然ノイズ 126, 134 ジッタ 143, 144, 179 時分割多元接続 81 時分割複信 81 遮断周波数 100 シャノン ——の通信システム モデル 8 ——の通信路容量 150 シャワリングアーク 139 自由空間 26, 101 終端インピーダンス 145</p>
<p style="text-align: center;">【あ】</p> <p>アクティブ・フェーズド・ アレイ・アンテナ 124 アーク放電 139, 140 アース 156, 157 アレイアンテナ 119 アンテナ 101 ——の効率 107 アンテナ素子の指向性関数 119 アンペールの法則 101</p> <p style="text-align: center;">【い】</p> <p>位相定数 103 位相変調 67 位相変動 144 1点グラウンド方式 161 イミュニティ 126 インピーダンス 94 インピーダンス整合 108, 174</p> <p style="text-align: center;">【う】</p> <p>渦電流 169 右旋円偏波 117</p> <p style="text-align: center;">【え】</p> <p>エンドファイア配列 アンテナ 121 円偏波 116 遠方界 164, 171 遠方電磁界 103</p> <p style="text-align: center;">【か】</p> <p>回転 34 外来ノイズ 134 拡散 86</p>		

導電誘導 159
 導電率 169, 171
 導波管 100
 特性インピーダンス 94, 145, 174

【な】

内層グラウンド平面 158
 内部ノイズ 134

【ね】

熱雑音 134

【の】

ノイズ 126
 ノイズ耐性 126
 ノイズマージン 128

【は】

背景雑音 13
 配列アンテナ 119
 配列係数 122
 白色雑音 134
 波形ひずみ 174
 波形品質 174
 発散 34
 波動インピーダンス 164
 波動方程式 102
 パーマロイ 169
 パルス信号
 —のジッタ 145
 —のひずみ 145
 パルス伝送 175
 パルス波 131
 パルス符号変調方式 22
 反射 145, 174
 反射係数 175
 搬送波 8, 67, 151
 搬送波抑圧振幅変調方式 19
 半波長ダイポールアンテナ 101

【ひ】

微小ダイポール 164
 微小ダイポールアンテナ 102
 微小ループ 164
 非直線ひずみ 14
 ビット誤り率 151
 比誘電率 99
 表皮効果 179
 表皮深度 179
 標本化 21
 標本化周波数 22
 標本化パルス 21

【ふ】

フェージング 27
 フェーズド・アレイ・
 アンテナ 124
 負荷インピーダンス 94
 復調 8, 67
 符号分割多元接続 81
 フーリエ級数展開 131
 フリスの伝達公式 60
 ブロードサイド配列
 アンテナ 119
 分岐 178
 分布定数回路 90, 174

【へ】

平行線路 97
 平面波 103
 並列空間伝送路 155
 ベクトル波動方程式 47
 ベースバンド 151
 ベタ・グラウンド 158
 変位電流 33, 40, 101
 変調 8, 67
 変調指数 71
 変調度 68
 変調方式 152
 偏波 116
 偏波面 116

【ほ】

放射抵抗 106
 放射電界 102
 放射電界強度 109
 放射電磁界 103, 164, 171
 ホワイトノイズ 134

【ま】

マイクロストリップ線路 99
 マイクロ波 99
 マージン 62
 マルチパスフェージング 51

【み】

ミリ波 99

【む】

無雑音の抵抗 135
 無指向性点放射源の
 配列の指向性 119
 無線周波数信号 130

【め】

メインビーム 29
 メッセージ 8

【ゆ】

誘電正接 179
 誘電損 179
 誘導結合 103
 誘導的 91
 誘導電界 102
 誘導電磁界 103, 164, 169
 有能雑音電力 135

【よ】

容量結合 103, 167
 容量的 91
 余裕 62

【ら】

ランダム・ジッタ 145

【り】		量子化ひずみ	23	【ろ】	
		リンクバジェット	58		
リアクティブ電磁界	103	【れ】		漏えい同軸ケーブル	99
リップル	133			漏話	13, 142
量子化	23	レッヘル線	97		
量子化雑音	23	レベルダイアグラム	12		
◆ ◆					
【A】		EMS	127	【N】	
ACG	158	【F】		noise	126
AM	67	FDD	81	noise margin	128
Ampere の法則	101	FDMA	81	【O】	
APK	74	FG	158	OFDM	155
array	117	FH-SS 方式	85	【P】	
ASK	74, 153	FM	67	PM	67
【B】		Fourier series expansion	131	PN code	86
band elimination filter	15	FSK	74	PSK	74, 153
band pass filter	15	【G】		【Q】	
BER	151	GMSK	78	QAM	81
bps	150	GPS	117	QPSK	154
BPSK	153	【H】		【R】	
【C】		high pass filter	15	radio frequency signal	130
carrier	67	【I】		RF 信号	130
CDMA	81	immunity	126	rotation	34
CN	151	【J】		【S】	
CN 比	127	jitter	143	Schelkunoff	171
communication	1	Johnson noise	135	SG	158
conduction current	40	【L】		shield	163
crosstalk	13	link budget	58	SN	150
【D】		low pass filter	15	SNR	145
demodulation	67	【M】		SN 比	127, 145
displacement current	40	margin	62	Stokes の定理	101
divergence	34	MIMO	52, 155	【T】	
DS-SS 方式	85	MMIC	99	TDD	81
DSB	69	modulation	67	TDMA	81
【E】		MSK	77		
EMC	127				
EMI	126				

—— 編著者・著者略歴および執筆分担 ——

よしの じゅんいち
吉野 純一 (1章)

- 1987年 東京農工大学工学部電気工学科卒業
1987年 日本無線株式会社勤務
1992年 育英工業高等専門学校講師
2000年 工学院大学大学院修士課程修了(電気・電子工学専攻)
2005年 博士(工学)(工学院大学)
2007年 サレジオ工業高等専門学校准教授(電子工学科)
2013年 サレジオ工業高等専門学校教授(機械電子工学科)
現在に至る
2008年 (社)日本工学教育協会
中級教育士(工学・技術)
2013年 (社)日本工学教育協会
上級教育士(工学・技術)

よしだ まさし
吉田 将司 (3章)

- 2001年 東京商船大学商船学部流通情報工学課程卒業
2006年 東京商船大学大学院博士後期課程修了
2006年 博士(工学)(東京商船大学)
2006年 サレジオ工業高等専門学校講師(電子工学科)
2014年 サレジオ工業高等専門学校准教授(機械電子工学科)
現在に至る

さいとう せいいち
斉藤 成一 (5.1.1項～5.1.3項, 5.2節)

- 1973年 早稲田大学理工学部電子通信学科卒業
1973年 三菱電機株式会社勤務
2000年 東京農工大学大学院工学研究科博士後期課程修了(生産システム工学専攻)
博士(工学)(東京農工大学)
2010年 サレジオ工業高等専門学校教授(専攻科)
2012年 サレジオ工業高等専門学校
客員教授(専攻科)
現在に至る

やました こうぞう
山下 幸三 (2章)

- 2006年 電気通信大学電気通信学部電子工学科卒業
2008年 電気通信大学大学院電気通信研究科博士前期課程修了(電子工学専攻)
2011年 東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了(地球物理学専攻)
2011年 博士(理学)(東北大学)
2011年 サレジオ工業高等専門学校助教(電気工学科)
2014年 サレジオ工業高等専門学校講師(電気工学科)
現在に至る

みずたに ひろし
水谷 浩 (4章, 5.1.4項)

- 1986年 京都大学工学部石油化学科卒業
1988年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了(分子工学専攻)
1988年 日本電気株式会社 勤務
2007年 株式会社ヨコオ 研究開発部長
2007年 電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程修了(情報通信工学専攻)
2007年 博士(工学)(電気通信大学)
2012年 サレジオ工業高等専門学校教授(電気工学科)
現在に至る
2014年 (社)日本工学教育協会
上級教育士(工学・技術)

無線通信工学の基礎と演習

Wireless-communications engineering—Fundamentals and Exercises—

© Jun'ichi Yoshino 2014

2014年10月16日 初版第1刷発行



検印省略

編著者 吉野純 一
著者 山下幸三
吉田将司
水谷浩
斉藤成一
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-00865-4 (森岡) (製本：愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします