

Communication Systems Engineering

通信システム工学

博士(工学) 鈴木 利則【著】



コロナ社

通信システム工学

博士(工学) 鈴木 利則 著

コロナ社

まえがき

1970年代に流行した特撮テレビ番組『ウルトラマン』シリーズに登場する警備隊員は、腕時計型電話機で仲間たちと連絡を取り合っていた。ビデオシーバーというその電話機は、当時の技術では到底実現できない夢のアイテムだった。当時は固定電話でさえ珍しく、電話のない家も多かった。ウルトラマンを映し出すテレビにはリモコンもない。テレビの前に行き、電源を入れ、チャンネルを変え、音量を調整するのが当たり前だった。

あの頃から50年近く、通信技術は周辺の技術を巻き込みながら劇的に進歩し続け、今や情報通信革命ともいわれる急激な社会変化の一翼を担っている。もはやわれわれは通信システムの中で生きているといっても過言ではない。それを支え発展させる技術者や研究者は、これからも必要とされ続けることは明白である。通信機能はさまざまなものに備わり、システムは社会により深く関わっていくだろう。

本書は通信システムの働きや原理を理解するために書かれたものであり、基礎となる伝送交換技術とシステムに関する内容を含んでいる。無線従事者の資格試験を念頭に置いたため、無線系技術の比重が大きいと思われるかもしれない。システムに関する内容は全体の動作がわかるような説明を心掛けた。通信の基礎理論は、内容を正確に理解してもらうため大学2年程度の応用数学を前提にした数式を用いているが、数式が完全に理解できなくても概略がつかめるように図を多用した。

1章では、通信に対する関心を少しでも広げてもらうため、その前半で電気通信が社会で果たしてきた役割のごく一部を紹介している。この部分(1.1節)は読み物的になっており、読み飛ばしてもかまわない。2章から5章まで

は信号伝送の基礎理論と基本方式に関する内容である。これらは、信号の中継と交換に関する6, 7章と合わせて、通信システムを構成する根幹の技術といえよう。9章では主に陸上移動通信における無線伝送路を取り上げ、主要な事項を説明している。8章では固定電話に代表される固定通信システムを、10章では携帯電話システムを取り上げ、ネットワーク技術に属する事項も含めて説明をしている。11章では衛星通信に必要とされる基本事項やいくつかのシステムを、12章では無線による測位システムやその原理を取り上げている。

本書を推敲するにあたり、日本大学工学部 石川博康 教授、東北学院大学工学部 神永正博 教授、東北工業大学工学部 工藤栄亮 教授に貴重なコメントを頂戴した。ここに感謝の意を表したい。

本書が、情報通信技術の若き担い手の一助になれば幸いである。

2016年11月

鈴木 利則

目 次

1. 緒 論

1.1 電気通信の黎明期	1
1.1.1 電気通信以前	1
1.1.2 有線による電気通信	2
1.1.3 無線による電気通信	3
1.2 電気通信の進展	4
1.2.1 有線と無線の住み分け	4
1.2.2 情報形態と通信モデル	5
1.2.3 伝送と交換	6
1.2.4 通信対象の拡大	7
1.2.5 通信の形態	8
1.3 システムの信頼性	8
1.3.1 信頼度指標	8
1.3.2 接続形態と全体の信頼度	9
章 末 問 題	10

2. フーリエ変換とスペクトル

2.1 フーリエ変換とスペクトルの関係	11
2.2 信号の周期性	12
2.3 周期性信号のスペクトル — フーリエ級数展開 —	13
2.4 非周期信号のスペクトル — フーリエ変換 —	15

2.5	フーリエ変換の性質	17
2.5.1	周波数シフト	17
2.5.2	時間シフト	17
2.5.3	時間微分と時間積分	18
2.5.4	インパルス	18
2.5.5	時間波形の畳込み	19
2.5.6	デルタ関数を用いた周期性信号のフーリエ変換	20
2.5.7	非周期信号の電力スペクトル密度	21
章末問題		22

3. 不規則信号と雑音

3.1	確率分布と統計量	23
3.2	相関関数	26
3.3	熱雑音の特性	28
3.3.1	雑音の種類	28
3.3.2	熱雑音	28
3.4	雑音指数	30
3.4.1	縦続接続	31
3.4.2	等価雑音温度	32
3.5	大きさの対数表現 (デシベル)	33
3.5.1	相対表現	33
3.5.2	絶対表現	34
3.5.3	レベルダイアグラム	35
章末問題		36

4. アナログ変復調

4.1	変復調の役割と種類	37
4.2	振幅変調	38

4.3 周波数変調 (FM)	40
4.4 位相変調 (PM)	43
4.5 AM 検 波	43
4.5.1 包絡線検波	44
4.5.2 二乗検波	44
4.5.3 同期検波	45
4.6 FM 検 波	46
4.7 AM 検波と FM 検波の品質	48
4.7.1 AM 検波の品質	48
4.7.2 FM 検波の品質	49
4.7.3 プリエンファシスとディエンファシス	52
章 末 問 題	52

5. デジタル変復調

5.1 アナログとデジタルの形式上の違い	53
5.2 アナログ-デジタル変換	54
5.2.1 標本化定理 (サンプリング定理)	55
5.2.2 量子化雑音	55
5.2.3 標本化された信号からの復元	56
5.3 ベースバンド伝送	57
5.4 デジタル変調方式	59
5.4.1 ASK, FSK, PSK, APSK/QAM	59
5.4.2 CPFSK, MSK	60
5.4.3 信号点配置	61
5.4.4 多値変調	62
5.4.5 デジタル変調の等価表現	63
5.4.6 帯域制限フィルタと占有帯域幅	64
5.5 デジタル変調波の検波	66
5.5.1 同期検波	66

5.5.2 ルート ナイキスト フィルタ	68
5.5.3 差動符号化と遅延検波	69
5.6 誤り率特性	70
5.7 スペクトル拡散	72
5.7.1 周波数ホッピング (FH)	73
5.7.2 直接拡散 (DS)	74
章末問題	75

6. 多重伝送とアクセス方式

6.1 全二重複信方式	77
6.2 多重化と多元接続	78
6.3 多重化方式	79
6.3.1 周波数分割多重 (FDM)	79
6.3.2 時分割多重 (TDM)	80
6.3.3 符号分割多重 (CDM)	82
6.3.4 直交周波数分割多重 (OFDM)	83
6.3.5 高速伝送方式としての OFDM	87
6.4 多元接続方式	88
6.4.1 FDMA	88
6.4.2 TDMA	88
6.4.3 CDMA	89
6.4.4 OFDMA	90
6.4.5 CSMA	91
章末問題	92

7. 交換方式とトラヒック理論の基礎

7.1 交換方式	93
7.1.1 回線交換方式	93

7.1.2	パケット交換方式	95
7.2	ネットワーク構成とルーチング	96
7.3	回線交換の呼量と呼損率	98
7.4	パケット交換の待ち時間	101
	章 末 問 題	104

8. 固 定 電 話 網

8.1	固定通信サービスの変遷	105
8.1.1	電話網の完成	106
8.1.2	データ通信網の登場	106
8.1.3	統合デジタル網と ATM	106
8.1.4	インターネットの登場	109
8.2	固定電話網の構成	109
8.2.1	電 話 局	110
8.2.2	冗 長 構 成	110
8.2.3	ネットワークの物理構成	111
8.2.4	加入者回線の物理構成	111
8.3	番 号 計 画	113
8.4	共通線信号網	113
8.4.1	共通線信号プロトコル	114
8.4.2	発着信時の動作例	115
	章 末 問 題	118

9. 電波伝搬とダイバシチ技術

9.1	自由空間伝搬	119
9.2	陸上移動伝送路	120
9.2.1	見通し (LOS) と見通し外 (NLOS)	120

9.2.2	NLOS 環境における受信強度の変動	120
9.2.3	距離減衰	121
9.2.4	シャドイング減衰	121
9.2.5	マルチパス伝送路と瞬時変動	122
9.2.6	ドップラー広がり	123
9.2.7	遅延プロファイルと遅延スプレッド	123
9.2.8	マルチパス歪み	124
9.3	ダイバシチ技術	126
9.3.1	空間ダイバシチ	126
9.3.2	瞬時受信電力の改善	128
9.3.3	パスダイバシチ (rake 受信)	129
9.3.4	Rake 受信とソフトハンドオフ	131
9.3.5	OFDM によるマルチパス歪み対策	131
9.3.6	OFDM による周波数ダイバシチ	133
章 末 問 題		134

10. 携帯電話システム (セルラシステム)

10.1	携帯電話システムの変遷	135
10.2	携帯電話網の基本構成	136
10.3	無線チャネルの基本構成	137
10.4	位置登録	138
10.5	発着信処理	139
10.6	ハンドオフ	141
10.6.1	集中制御型と端末アシスト型	141
10.6.2	ハードハンドオフとソフトハンドオフ	142
10.7	加入者認証と通信秘匿	143
10.8	パケット網構成	144
10.8.1	端末発信の動作	145
10.8.2	メール着信の動作	145

10.8.3	ハンドオフ時の動作	146
10.9	セル設計の基本	147
10.9.1	セル配置	147
10.9.2	セルへの周波数割当て	148
10.9.3	高度な周波数割当て	149
10.9.4	セクタ化	150
	章末問題	150

11. 衛星通信

11.1	衛星通信の特徴	151
11.2	通信衛星の軌道	151
11.3	衛星通信に用いる周波数帯（電波の窓）	152
11.4	衛星回線の設計（リンクバジェット）	154
11.5	通信衛星の構成	156
11.6	姿勢制御	158
11.7	衛星通信システムの例	159
11.7.1	インテルサット衛星通信	159
11.7.2	インマルサット衛星通信	159
11.7.3	イリジウム衛星通信	160
11.7.4	ワイドスター	161
11.7.5	IPSTAR	161
	章末問題	162

12. 測位・航法支援システム

12.1	天測航法から電波航法へ	163
12.2	双曲線航法	163
12.3	VOR, DME, TACAN	165

12.4	ILS	168
12.5	衛星航法	170
12.6	その他の測位システム	174
12.6.1	GPSハイブリッド測位	174
12.6.2	Wi-Fi測位システム	175
	章末問題	176
	参考文献	177
	章末問題解答	179
	索引	186

緒 論

1.1 電気通信の黎明期

通信すなわち「^{しん}信を^{かよ}通わす」という行為は、人間が営みを続けるうえで欠かせないものである。「通信」の英語訳は“communication”。離ればなれでいてもコミュニケーションしたいのは、人間の根源的な欲求ではないだろうか。遠くにいながらのコミュニケーション、すなわちテレコミュニケーション（telecommunication）の起源は太古の昔に遡る。

1.1.1 電気通信以前

手紙のような物理媒体を直接運搬する形態ではなく、情報を遠くに伝える方法として、望遠鏡が発明される前（1608年以前）は、敵の侵入や^{いくさ}戦の合図を伝える^{ほらがい}法螺貝、太鼓などの音や、^{のろし}狼煙のような目で判別できるものが主なテレコミュニケーションの手段であった。

望遠鏡の発明は、目視による情報の伝達距離を飛躍的に向上させた。フランスでは望遠鏡を利用した^{うでぎ}腕木通信が発達し、その後、当時の先進国に広まった。腕木通信とは3本の棒（腕木）を連結し、その曲げ方で文字を表して遠隔に伝える方法である。図1.1のような通信塔を見通しのある伝達経路上に設置し、望遠鏡で腕木の形状を読み取り、それを伝えていく腕木通信網が1797年頃から整備された。そのルート

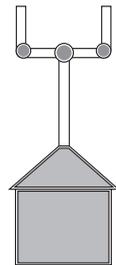


図1.1 腕木通信

は1819年には550 km, 1846年には4 000 km 程度に達した。

一方、日本では独自の**旗振り通信**があった。これは手旗の振り方で大坂^{†1}の米相場を伝えるもので、1743年頃から使われていた。大坂から江戸までは、途中の飛脚による中継を挟み約2時間で情報が伝えられたといわれている。

1.1.2 有線による電気通信

1820年、それまで別物で無関係と思われていた電気と磁気が相互に作用することをデンマークのエルステッドが発表した。彼は偶然、電気から磁力が発生することを発見したのである。この発見が当時の研究者を大いに刺激し、同年中にアンペールの法則とビオ・サバルの法則が発表された。1832年、ロシアのシリングはこれを応用して電信機を発明する。6個の磁針の向きを遠隔から変えて英数字を伝達するもので、8本の電線が必要であった。1836年に5 kmの伝送に成功したと伝えられている。1836年にモールスが発明したりレーと電信機は、長距離通信に適したものであった。必要な電線は2本で済み、電気エネルギーの消耗を補う仕組みも揃ったからである。モールス式電信機には、同時期に発明されたモールス符号が用いられた。これはスイッチをオンにする時間の長短（ダッシュ・ドットまたはツー・トンと称される）の組合せで文字を表すものである。モールス式電信機により1844年、米国のワシントンとボルチモア間の130 kmで電信サービスが始まった。最初の電文が“What hath God wrought”^{†2}であるのは、当時の関係者の心境からであろう。

電信線は1851年に英仏海峡を、1866年に大西洋を横断し、1871年にはシベリアを横断して欧州と極東を結び国際電信網を形成していった。同年、日本は長崎-上海と長崎-ウラジオストック間で国際電信網に接続された。このケーブル敷設は、デンマークの大北電信会社が明治政府から陸揚げ権を取得して行ったものである。長崎-東京間が開通するのは1873年であった。

†1 江戸時代は「大坂」と表記された。明治時代に「大阪」になった。

†2 「神が造り給いしもの」（旧約聖書「民数記」23章23節）。“hath”は“has”の古詩的表現，“wrought”は“work”の過去分詞。

このように電気通信は電信という情報の形式を主役として急速に進んでいくのだが、モールス符号を介する煩わしさがあつた。音声をそのまま伝える電話機は1876年、米国のベルによって発明された。ほぼ同時にグレーも考案しているが、2時間違いでベルに特許権が与えられた。当時の激しい技術競争の一端が垣間見える。1877年、ベル電話会社（現AT&T社）が設立され電話サービスが開始された。カナダと米国の国番号（→8.3節）が同じ“+1”である理由はこの時代に遡る。カナダの電話事業もベル電話会社が行っていたからである。このように、電話の発明を契機に電気通信の民間利用が進んでいった。

1.1.3 無線による電気通信

英国のマクスウェルは、1864年、当時知られていた電場と磁場に関する法則を統一して記述した方程式（後に整理されて**マクスウェルの方程式**と呼ばれる）から電磁波の存在を予言した。電磁波の存在を実証したのはドイツのヘルツで、1888年のことである。しかしこの実験装置は受信側の感度が悪く、そのまま通信に使えるものではなかった。これを改良したのは英国のロッジで、1894年、彼はその4年前に発見されていたコヒーラ現象[†]を応用し新たな検波器を発明した。1895年、ロシアのポポフが約0.5kmの無線通信に成功し、その後海軍で実用に供された。本格的な無線通信の普及はマルコーニ（イタリア）に負うところが大きい。1897年、彼は英国で無線電信会社を立ち上げて英国領の海岸に無線局を設置し、船舶に無線局と通信士をリース/派遣する形でサービスを開始した。一方で、同調ダイヤル方式の発明（1900年）や大西洋横断無線通信の成功（1901年）など、研究開発も欠かせなかった。

無線通信の最大の利点は、移動体通信を実現できることであろう。1905年の日本海海戦において、バルチック艦隊を発見した信濃丸が発した「敵艦見ユ」は、日本の連合艦隊を勝利に導く重要な情報であった。1912年に起こったタイタニック号の遭難ではマルコーニ社の通信設備と通信士によって遭難信

[†] 金属粉が高周波によって抵抗値を変える現象。当時は理由がわからなかった。

号が発せられ、乗客乗員約2200人中700人余りが救助された。

一方、無線による電気通信は、電線を敷設する必要がなく比較的短期間で開設できるとともに、その費用も有線方式に比べて抑えることができる。これらの利点は遠距離通信になるほど顕著となる。無線電信は当初、有線電信の代替手段として実用化されていった。日本では米国との通信を担う磐城無線電信局（福島県）が1921年に開局している。

無線通信は、有線通信と異なり通信相手以外に傍受される可能性が高い。この特徴は特定者間で行われる通信の形態では欠点となるが、これを逆手に取れば、不特定多数の相手に同じ情報を配信する形態（すなわち放送）に適したものとなる。音響放送（ラジオ）は1906年に米国で始まったのが最初とされる。日本では1925年に東京放送局（現NHK）が開局し、10月末には契約数が10万を突破したという。余談だが、1923年に発生した関東大震災の報は磐城無線電信局から米国に発せられ世界中が知ることになった。震災直後の被災地では、今では考えられない悪質なデマや混乱があったというが、ラジオ放送が始まっていれば状況は違ったのかもしれない。比較的簡易な回路で受信できるラジオ放送は、災害時でも有効なメディアと位置付けられ、今でもアナログ方式（→4章）が用いられる。

1.2 電気通信の進展

1.2.1 有線と無線の住み分け

有線通信と無線通信の特徴をまとめると表1.1のようになろう。有線通信は、メタリックケーブルを伝導する電気信号から光ファイバによる光信号の伝達に移行し、伝送容量が飛躍的に進展した。無線通信で用いる波長は長波から短波帯、マイクロ波帯へと移っていく。第二次大戦中の軍事目的の研究によって無線技術はさらに進み、戦後はレーダや測位への応用や人工衛星を用いた通信が実用化されていった。現在、通信網の幹線や大容量の安定した通信が必要とされる拠点では光ファイバが利用され、屋内もしくは近距離でアクセス端末

表 1.1 有線通信と無線通信の特徴

有線通信の特徴	無線通信の特徴
① 安定した通信品質（電波干渉、遮蔽、反射、散乱などの影響を受けない） ② 必要なケーブルを敷設すれば、回線数を増やせる（電波干渉による回線数の制約がない） ③ ケーブル敷設にコスト（時間、金額）を要する	① 移動体間の通信が可能 ② 放送（ブロードキャスト）に向いている ③ 無線区間の工事が不要で、開設に要するコストが比較的低い ④ 周波数が限られている。混信や電波干渉に対処する必要がある ⑤ 通信品質が伝搬環境（遮蔽、反射、散乱など）の影響を受けやすい

が固定的に用いられる環境ではメタリックケーブルも使用されている。一方、無線通信は移動体通信や放送、災害や障害時の非常用通信に適しており、テレビジョン（以下、テレビ）放送、携帯電話システム（→10章）、衛星通信や衛星放送（→11章）、レーダや測位（→12章）と広い範囲で利用されている。

1.2.2 情報形態と通信モデル

前述のように電気通信は符号で文字を表す電信に始まり、その後音声を伝える電話の形式が広まっていった。電信網を用いた静止画伝送も改良されながら実用化されていった。日本では1928年にNE式写真電送が開発され、官公庁や新聞社に採用された。電話網による静止画伝送（ファクシミリ）は1966年から欧米間で行われ、日本でも1972年に解禁されて以降、企業や家庭で広く用いられるようになった。初期のファクシミリ解像度は100 dpi (dot per inch, 1 inchは2.54 cm) で、A4用紙1枚の伝送に3~6分を要した。

動画伝送は1920年代の電子式受像機（ブラウン管）と撮像機の開発を経て、1929年に英国で実験放送が行われた。米国では1941年に、日本では1953年にNTSC方式による白黒テレビ放送が開始された。国内のテレビ電話サービスは1984年に遠隔会議システムとして始まり、後に電話網と当時のデータ通信網を統合したISDN（→8.1節）による家庭用端末も発売された。

このように通信もしくは**放送**[†]により相手に伝える情報の形態は多様化し、

† 放送法第二条では「放送」を、「公衆によって直接受信されることを目的とする電気通信の送信」と定めている。

索引

	【あ】				
アクセス網	109, 110	遠地点	152	狭帯域周波数変調	43
アーラン	99	【お】		共通線信号網	95, 113
——の損失式	101	オイラーの公式	13	共通チャネル	137
——の同時接続確率式	101	オムニセル	150	共用器	77
アーランB式	101	【か】		距離減衰	120
アンテナダイバシチ	126	回線交換方式	93	距離変動	120
【い】		階層型	97	近地点	152
位相変調	38	ガウス分布	25	【く】	
位置登録	138	拡散符号	74	空間ダイバシチ	126
位置登録エリア	138	拡散率	74	空間分割型	94
位置登録要求	139	角度変調	43	国番号	3, 113
一様分布	25	確率変数	23	グライドパス	168
移動局	136	確率密度関数	23	グレイコード	58
インタロゲータ	166	カージオイド型	165, 166	クロージャ	111
インテルサット	159	カーソン帯域	43	グローバルビーム	157
インパルス	18	カッドケーブル	111	【け】	
インパルス応答	19	ガードバンド	79	ゲートウェイ	144
インマルサット	159	稼働率	8	ケンドールの記号	102
【う】		加入者交換機	110, 136	【こ】	
ウォルシュ-アダマール符号	82	加入者パケット交換機	144	呼	98
宇宙局	151	可変位相信号	165	コア網	109, 110
腕木通信	1	完全線群	94	交換	7
【え】		関門交換機	137	交換線群	93
衛星航法	163	【き】		広帯域周波数変調	43
エネルギースペクトル密度	16	基準位相信号	165	広帯域利得	51
円軌道	152	期待値	23	後方保護	81
		基地局	136	国際民間航空機関	168
		基地局間距離	147	誤差補関数	25
		軌道傾斜角	152	故障率	8
		基本周波数	13	コースライン	169
		逆拡散	75	呼損	93

呼損率	99	周波数スペクトル密度	15	責任分界点	137
コネクション型	97	周波数選択性	126	セクタ	150
コネクションレス型	97	周波数ダイバシチ	90, 126	セクタアンテナ	150
コヒーレンス帯域幅	124	周波数分割多元接続	79	セクタ化	150
個別チャネル	137	周波数分割多重	78	絶対利得	119
呼量	99	周波数分割複信	77	セル	108, 136
		周波数変調	38	セルエッジ	147
【さ】		周波数弁別器	46	セル端	147
在圏基地局	148	周波数ホッピング	72	セル半径	147
在圏セル	148	終了率	99	セルラシステム	136
最大位相偏移	43	瞬時変動	120	ゼロモーメントム方式	158
最大周波数偏移	40	順序制御	98	線スペクトル	14
最大ドップラー周波数	123	衝突回避型 CSMA	91	選択合成	126
最大比合成	126	衝突検知型 CSMA	91	全二重	8
雑音指数	30	情報源符号化	6	前方保護	81
差動符号化	69	処理利得	75	占有帯域幅	40
サブキャリア	84	自律分散方式	79		
三軸安定方式	158	シングルスピン方式	158	【そ】	
サンプリング	54	信号中継交換機	113	双曲線航法	163
サンプリング周期	54	信号点配置	61	相互接続点	137
サンプリング周波数	54	信号波	37	即時式	93
サンプリング定理	55	振幅変調	38	ソフトハンドオフ	141
サンプル値	55	シンボル誤り率	70		
		シンボル長	59	【た】	
【し】		シンボルレート	59	帯域通過フィルタ	79
時間ダイバシチ	126			帯域伝送方式	57
自己相関関数	26	【す】		待時式	93
指数分布	25	スター型	96	対数正規分布	121
実効放射電力	155	スタティック ルーチング		ダイナミック ルーチング	
実効面積	119		97		97
ジッタ	96	スピン安定方式	158	ダイバシチ技術	126
時分割型	94	スペクトル拡散	72	ダイヤルトーン	115
時分割多元接続	79	スポットビーム	157	楕円軌道	152
時分割多重	78	スレッシュホールド効果	51	畳込み積分	19
時分割複信	77			多値変調方式	62
シャドイング減衰	120	【せ】		短区間変動	120
周回軌道	151	生起率	99	単信	8
周期性信号	12	整合フィルタ	67	端末アシスト型ハンドオフ	
自由空間	119	静止軌道	151		141
自由空間伝搬損失	119	世界無線会議	154		
集中制御方式	79	積滞解消	106		

【ち】		【と】	旗振り通信	2	
遅延検波	69	等価雑音温度	32	発呼	98
遅延スプレッド	123	同期検波	44, 66	ハードハンドオフ	141
遅延プロファイル	123	等方性	119	パルス符号化変調	57
地球局	151	等利得合成	126	搬送波	37
蓄積交換	96	トランスポンダ	167	搬送波周波数	38
チップ	74	トレードオフ	97	搬送波電力対雑音電力比	154
チップ長	74	【な】		ハンドオーバ	141
チップレート	74	ナイキストの第1基準	65	ハンドオフ	136, 141
着呼	98	ナイキストフィルタ	65	半二重	8
チャレンジレスポンス	144	【に】		【ひ】	
チャレンジレスポンス認証	143	二乗検波	44	ビジートーン	117
中継交換機	110, 137	二乗余弦フィルタ	65	非周期信号	12
中継パケット交換機	144	認証	136	ビット誤り率	70
長区間変動	120	認証鍵	143	秘匿鍵	144
直接拡散	72	認証センタ	143	被変調信号	38
直交周波数分割多元接続	79	【ね】		標準偏差	24
直交周波数分割多重	78	熱雑音	25, 28	標本化	54
直交条件	60	ネットワークポロジ	96	標本化周期	54
直交性	13	ネットワークの物理構成	111	標本化周波数	54
直交符号	75	【の、は】		標本化定理	55
【つ】		ノード	96	標本値	55
通信規約	109	バイアスモーメントム方式	158	【ふ】	
ツリー型	97	ハイブリッド測位	174	フィンガ	129
【て】		白色ガウス雑音	29	不完全線群	94
低域通過フィルタ	56	白色性	29	複信	8
ディエンファシス	52	パケット	95	輻轉	98
デシベル	33	パケット交換方式	93	復調	37
デュアルスピン方式	158	パケット損失	96	副搬送波	84
デルタ関数	11, 16	パケットロス	96	符号分割多元接続	79
伝送	7	パーシバルの定理	16	符号分割多重	78
伝送路符号化	6	バス型	97	フーリエ級数展開	11
天測航法	163	バス機器	156	フーリエ変換	11
電波航法	163	バスダイバシチ	126, 129	プリエンファシス	52
電波の窓	153			プリスの伝達公式	119
天文航法	163			フルメッシュ型	97
電離層	153			フレーム	81
				フレームリレー	107

フロー制御	96
ブロードキャスト	8
プロトコル	109
分散	23
【へ】	
ペ ア	144
平均	23
ベストエフォート型	96
ベースバンド方式	57
ヘッダ	95
変調	37
変調指数	38, 41
変調信号	37
変調シンボル	59
変調多値数	60
変調度	38
変調波	37
【ほ】	
ポアソン分布	25, 99
放送	5
包絡線検波	44
ホッピング シーケンス	73
ホッピング パタン	73
保留時間	99
ボルツマン定数	29
ボーレート	59
【ま】	
マーカ	168
待ち行列理論	101
マッピング規則	62
マルチキャスト	8
マルチパス伝送路	122
マルチパス歪み	124
マルチビーム	157
マルチビーム衛星	157
【み, む】	
ミッション機器	156

無線ネットワーク制御装置	136
無変調波	155
【め, も】	
メッシュ型	96
モデム	37
【ゆ】	
有限エネルギー信号	12
有限電力信号	12
有効シンボル長	132
ユニキャスト	8
【よ, ら】	
余弦フィルタ	68
ランダムアクセス型チャネル	138
【り】	
リソース	143
リトルの公式	102
リユース ファクタ	148
量子化	55
量子化誤差	55
量子化雑音	25, 55
量子化雑音電力	55
量子化ビット数	55
量子化レベル数	55
利用率	102
リンク	96
リング型	97
リングバックトーン	117
リング変調器	45
【る】	
累積分布関数	23
ルーチング	97
ルート ナイキスト フィルタ	68

【れ】	
レイリーフェージング	122
レイリー分布	25
レイリー変動	122
レベルダイアグラム	35
【ろ】	
ローカラライザ	168
ロラン	163
ロールオフ特性	65
ロールオフ率	65
【数字】	
2 ASK	60
2 FSK	60
8 PSK	62
16 APSK	62
16 QAM	62
【A】	
A-D 変換	53
ADSL	112
AM	38
APN	144
ATM	107
AuC	143
【B】	
BER	70
BPF	79
BPSK	60
break before make	141
BS	136
【C】	
carrier	37
CDE コード	140
CDF	23
CDM	78
CDMA	79

C/N	154			PHM	112
CP	131		[I]	PM	38
CP 除去	133	ICAO	168	PN 符号	75
CPFSK	60	ICO	152	POI	137
CR	144	ILS	168		
CSMA/CA	91	IP	109	[R]	
CSMA/CD	91	<i>IQ</i> 平面	61	Rake 受信	129
CW	155	ISD	147	RNC	136
cyclic prefix	131	ISDN	5, 106	RZ	58
		ISM	112		
[D]				[S]	
D-A 変換	53		[L]	SER	70
dB	33	LAC	138	SGSN	144
DME	165	LEO	152	signal signature	175
DS	72	LOS	120	SIM	143
DSU	112	LPF	56	sinc 関数	17
duplexer	77	LS	110	SN 比	48
				STM	107
[E]			[M]	STP	113
E. 164	113	M2M	7		
eirp	155	MAC アドレス	175	[T]	
		MAHO	141	TA	112
[F]		make before break	142	TACAN	165
FDD	77	MS	136	TDD	77
FDM	78	MSK	61	TDM	78
FDMA	79	MTBF	8	TDMA	79
FH	72	MTTR	8	TS	110
finger print	175				
FM	38		[N]	[U]	
		NLOS	120	UIM	143
[G]		NNSS	170	UNI	106
GEO	151	NRZ	58		
GGSN	144			[v]	
GPS	171		[O]	VLR	136
GS	137	OFDM	78	VOR	165
GW	144	OFDMA	79		
				[w, X]	
[H]			[P]	Walsh 符号	82
H2H	7	PCM	57	WRC	154
HLR	136	PCM24	80	X.25	106
		PDF	23		

— 著者略歴 —

- 1987年 東北大学工学部電気工学科卒業
1989年 東北大学大学院工学研究科博士前期課程修了
(電気及び通信工学専攻)
1989年 国際電信電話株式会社(現 KDDI 株式会社)入社
2005年 博士(工学)(東北大学)
2011年 東北学院大学教授
現在に至る

通信システム工学

Communication Systems Engineering

© Toshinori Suzuki 2017

2017年1月6日 初版第1刷発行



検印省略

著者 鈴木 利則
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 三美印刷株式会社

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 978-4-339-00893-7 (新井) (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