

はしがき	i
アンテナ・無線ハンドブック編集委員会	iii

I 編 アンテナの基礎

[編主任：新井宏之]

■ 1 章 マクスウェルの方程式とその解	2
1.1 平面波の基本特性	2
1.1.1 波動方程式	2
1.1.2 平面波の解の物理的意味	2
1.1.3 波動インピーダンス	3
1.2 平面波の伝搬	3
1.2.1 偏波	3
1.2.2 反射と透過	4
1.2.3 平面波の斜入射	4
1.2.4 損失	6
■ 2 章 アンテナの特性	7
2.1 微小電流（磁流）素子からの放射	7
2.1.1 バビネの原理	7
2.1.2 ベクトルポテンシャルからの放射	7
2.1.3 微小電流素子と微小磁流素子からの放射	8
2.1.4 等価定理とホイヘンスの原理	8
2.2 アンテナの指向性と利得	9
2.2.1 アンテナの指向性	9
2.2.2 指向性の計算法	10
2.2.3 アンテナの利得	10
2.3 入力インピーダンス	11
2.3.1 入力インピーダンスと放射抵抗	11
2.3.2 起電力法による入力インピーダンスの計算法	12
2.3.3 インピーダンス整合	12
2.3.4 平衡・不平衡線路	13
2.3.5 相互結合	13
2.4 実効長と受信開放電圧（EIRP）	14
2.4.1 アンテナの実効長	14
2.4.2 受信電界強度	14
2.4.3 受信断面積と開口効率	15
2.5 アレーアンテナの基礎	15
2.5.1 等振幅・等間隔アレー	15

2.5.2 共相励振アレー	16
参考文献	16

■ 3章 伝送線路と導波管 17

3.1 分布定数線路とスミスチャート	17
3.1.1 負荷が接続された分布定数線路	18
3.1.2 定在波	21
3.1.3 スミスチャート	22
3.2 導波管内の伝搬	26
3.2.1 モード	27
3.2.2 電圧・電流・電力	30
3.2.3 損失	31
3.3 TE, TM 波の固有値	32
3.3.1 直角座標 (方形導波管)	32
3.3.2 円筒座標 (円形導波管)	34
参考文献	35

■ 4章 アンテナの解析法 36

4.1 モーメント法	36
4.1.1 モーメント法の原理	36
4.1.2 モーメント法のシミュレータ	37
4.2 FDTD 法	38
4.2.1 FDTD 法の原理	38
4.2.2 無限領域の扱い	39
4.2.3 入力インピーダンスと指向性	40
4.2.4 FDTD 法のシミュレータ	40
4.3 有限要素法	40
4.3.1 汎関数と三角要素	40
4.3.2 有限要素法のシミュレータ	41
参考文献	41

II 編 電波伝搬

[編主任：唐沢好男]

■ 1章 移動通信の電波伝搬 44

1.1 移動通信の伝搬構造	44
1.1.1 伝搬構造とモデル化	44
1.1.2 伝搬変動の分類	44
1.2 多重波伝搬理論	46
1.2.1 多重波伝搬	46
1.2.2 狭帯域信号の電波伝搬	48
1.2.3 広帯域伝送の電波伝搬	55
1.3 電波伝搬モデル	62
1.3.1 伝搬距離特性	63

1.3.2	伝搬遅延特性	68
1.4	レイトレースによる伝搬推定	75
1.4.1	レイトレースのモデル化	76
1.4.2	伝搬遅延プロファイルと受信電力	79
1.4.3	低アンテナ高での伝搬特性	79
1.4.4	中・高アンテナ高での伝搬特性	80
1.5	ダイバーシチ技術	81
1.5.1	ダイバーシチブランチと合成法	81
1.5.2	合成後の信号対雑音比とその確率分布	82
1.5.3	送信ダイバーシチ	85
1.6	MIMO 伝搬チャンネルモデル	86
1.6.1	MIMO チャンネルの表現	87
1.6.2	MIMO チャンネルの統計的表現	88
1.6.3	MIMO 環境の生成	93
	参考文献	94

■ 2 章 移動体衛星通信の電波伝搬 97

2.1	陸上移動体衛星伝搬	97
2.1.1	伝搬劣化要因と伝搬状態の分類	97
2.1.2	衛星見通し率と樹木による減衰	98
2.1.3	受信強度の確率統計モデル	99
2.1.4	状態の遷移特性と3状態マルコフモデル	100
2.1.5	衛星ダイバーシチによる高稼働率化	101
2.2	海上移動体衛星伝搬	101
2.2.1	海面反射フェージングモデル	102
2.2.2	海面反射フェージングの統計的性質	103
2.3	航空移動体衛星伝搬	105
2.3.1	海面反射フェージングの影響	105
2.3.2	大地反射フェージングの影響	107
	参考文献	107

■ 3 章 固定通信の電波伝搬 109

3.1	衛星回線の伝搬	109
3.1.1	衛星回線における主要な伝搬因子	109
3.1.2	晴天大気の影響	109
3.1.3	降水の影響	110
3.1.4	その他の影響	116
3.2	地上通信回線の伝搬	117
3.2.1	概要	117
3.2.2	中・長距離システムにおける伝搬	117
3.2.3	短距離システムにおける伝搬	121
3.3	電離層伝搬	125
3.3.1	電離層の構造	126
3.3.2	電離層中の電波伝搬	127
	参考文献	129

■ 1 章 基本アンテナ

134

1.1	線状アンテナ (ダイポール・モノポール)	134
1.1.1	ダイポールアンテナ	134
1.1.2	モノポールアンテナ	137
1.1.3	コリニアアレーアンテナ	139
1.1.4	反射板付きダイポールアンテナ	140
1.1.5	コーナレフレクタアンテナ	142
1.1.6	八木-宇田アンテナ	144
1.2	線状アンテナ (ループ)	145
1.2.1	微小ループアンテナ	145
1.2.2	一波長ループアンテナ	146
1.2.3	反射板付きループアンテナ	149
1.3	線状アンテナ (その他)	149
1.3.1	ヘリカルアンテナ	149
1.3.2	スパイラルアンテナ	151
1.3.3	クロスダイポールアンテナ	152
1.3.4	逆L形アンテナと逆F形アンテナ	153
1.3.5	進行波形線状アンテナ	153
1.4	平面アンテナ	155
1.4.1	方形マイクロストリップアンテナ	155
1.4.2	円形マイクロストリップアンテナ	158
1.4.3	円環マイクロストリップアンテナ	159
1.4.4	スロットアンテナ	159
1.4.5	ノッチアンテナ	161
1.5	小型アンテナ	162
1.6	広帯域・マルチバンドアンテナ	164
1.6.1	Frequency Independent Antenna	164
1.6.2	非共振型広帯域アンテナ	167
1.6.3	共振型アンテナの広帯域化・マルチバンド化	170
	参考文献	172

■ 2 章 実用アンテナ

176

2.1	移動通信用基地局アンテナ	176
2.1.1	移動通信用基地局アンテナへの要求条件	176
2.1.2	セクタアンテナ	177
2.1.3	ビームチルト・垂直面内指向性成形	179
2.1.4	周波数共用アンテナ	180
2.1.5	ダイバーシチ構成	183
2.1.6	屋内・トンネル用アンテナ	185
2.1.7	マイクロセル用基地局アンテナ	186
2.2	移動局用アンテナ	188
2.2.1	移動局アンテナへの要求条件	188

2.2.2	携帯端末用アンテナ	189
2.2.3	無線 LAN 用アンテナ	198
2.2.4	RFID および電波時計用アンテナ	202
2.2.5	移動局におけるスマートアンテナ技術	205
2.3	放送用送信アンテナ	213
2.3.1	テレビ・FM 放送用送信アンテナへの要求条件	213
2.3.2	テレビ・FM 放送用送信アンテナの例	214
2.3.3	中波および短波放送用アンテナ	217
2.4	放送用受信アンテナ	218
2.4.1	放送用受信アンテナへの要求条件	218
2.4.2	実用アンテナの例	221
2.5	交通・運輸向無線システム用アンテナ	222
2.5.1	交通・運輸向無線システム用アンテナの要求条件	222
2.5.2	ETC/DSRC 用アンテナ	223
2.5.3	車両位置動態管理システム用アンテナ (オムニトラックス, バスロケーション)	226
2.5.4	交通無線 LAN 用アンテナ	228
2.5.5	列車無線用アンテナ	230
	参考文献	234

■ 3 章 測 定 法

240

3.1	アンテナ測定の基本	240
3.1.1	アンテナ測定の考え方	240
3.1.2	インピーダンス測定	240
3.1.3	インピーダンス測定の原理	240
3.1.4	利得測定	243
3.1.5	指向性測定	244
3.1.6	偏波測定	245
3.1.7	測定サイト	247
3.1.8	電波無響室	248
3.1.9	電界分布と電流分布の測定	250
3.1.10	超広帯域システム用アンテナの測定	250
3.1.11	時間軸領域でのアンテナ測定	251
3.2	小型アンテナ・携帯機用アンテナの測定	251
3.2.1	小型携帯アンテナの測定	251
3.2.2	フェージング環境測定法	252
3.2.3	三次元効率測定	254
3.2.4	Wheeler Cap 法	254
3.3	EMC	256
3.3.1	EMC に関する規定	256
3.3.2	EMC の測定法	262
	参考文献	266

IV編 高利得アンテナ

[編主任：渡辺文夫]

■ 1章 開口面アンテナの基本 272

1.1	開口理論	272
1.2	ホーンアンテナ	278
1.2.1	基本的な特性	278
1.2.2	角錐ホーン	278
1.2.3	円錐ホーン	279
1.2.4	複モード円錐ホーン	281
1.2.5	コルゲート円錐ホーン	282
1.2.6	設計・解析	284
1.3	反射鏡アンテナ	286
1.3.1	パラボラアンテナ	286
1.3.2	双反射鏡（グレゴリアンとカセグレン）	287
1.3.3	鏡面修整アンテナ	288
1.3.4	オフセット反射鏡アンテナと交差偏波消去条件	290
1.3.5	反射鏡アンテナによる成形ビームの合成	291
	参考文献	291

■ 2章 アレーアンテナの基本 292

2.1	アレー化の目的	292
2.2	アンテナの配列形状	292
2.2.1	素子アンテナの配列	292
2.2.2	直線アレーアンテナの指向性	293
2.2.3	直線アレーアンテナの利得	295
2.2.4	四角配列平面アレーアンテナの指向性	295
2.2.5	テイラー指向性	295
2.2.6	指向性合成の基礎	297
2.3	給電回路	299
2.3.1	アレーアンテナ用給電回路の機能	299
2.3.2	アレーアンテナ給電回路の構成要素	300
2.3.3	アレーアンテナ給電回路の構成例	306
	参考文献	307

■ 3章 実用アンテナ 309

3.1	衛星放送送受信アンテナ	309
3.1.1	反射鏡アンテナ	309
3.1.2	平面アンテナ	313
3.1.3	移動体用アンテナ	316
3.2	衛星搭載アンテナ	320
3.2.1	放送衛星用アンテナ	320
3.2.2	通信衛星用アンテナ	325
3.2.3	その他の衛星搭載アンテナ	331

3.3	地球局アンテナ・電波望遠鏡	333
3.3.1	衛星通信地球局アンテナ	333
3.3.2	追跡管制用地球局アンテナ	341
3.3.3	電波天文アンテナ	344
3.4	レーダアンテナ	346
3.4.1	レーダアンテナの基本性能を表す諸元	347
3.4.2	アレーアンテナ	348
3.4.3	反射鏡アンテナ	350
3.4.4	ビーム走査	351
3.4.5	ヌルパターンの合成	354
3.4.6	コセカント二乗パターンの合成	355
3.5	固定通信用アンテナ	356
3.5.1	ポイントツーポイントシステム用アンテナ	356
3.5.2	ポイントツーマルチポイントシステム用アンテナ	359
	参考文献	364

■ 4 章 測 定 法 370

4.1	放射電磁界の領域	370
4.2	遠方界測定法	370
4.2.1	放射パターン	370
4.2.2	利 得	372
4.2.3	雑音温度	374
4.3	測定環境	375
4.3.1	測定場の影響と対策	375
4.3.2	電波暗室	376
4.3.3	コンパクトレンジ	377
4.4	近傍界測定法	377
	参考文献	378

V 編 時空間処理アンテナ

[編主任：小川恭孝]

■ 1 章 マルチビームアンテナとフェーズドアレー 382

1.1	マルチビームアンテナ	382
1.1.1	マルチビームアンテナの利用形態	382
1.1.2	マルチビームアンテナの種類	383
1.1.3	反射鏡型マルチビームアンテナ	383
1.1.4	レンズ型マルチビームアンテナ	385
1.1.5	アレーアンテナによるマルチビームアンテナ	386
1.1.6	ビーム切換えアンテナ	388
1.2	フェーズドアレー	388
1.2.1	フェーズドアレーの動作原理	389
1.2.2	フェーズドアレーのシステム構成	390
1.2.3	追尾方法	395
1.2.4	アンテナ相互結合の影響	396

1.2.5 アクティブフェーズドアレー	396
参考文献	397

■ 2章 スマートアンテナ 399

2.1 システム構成とビーム制御アルゴリズム	399
2.1.1 スマートアンテナの概要と構成	399
2.1.2 ビーム制御法	402
2.1.3 ウェイト更新アルゴリズム	409
2.1.4 送信用スマートアンテナ	412
2.1.5 マルチビームスマートアンテナと空間分割多元接続 (SDMA)	413
2.2 実装技術	414
2.2.1 アンテナの実装技術	415
2.2.2 受信装置部	416
2.2.3 送信装置部	417
2.2.4 デジタル処理部	417
2.3 時空間信号処理	418
2.3.1 パスダイバーシチ構成	418
2.3.2 時空間等化	419
2.3.3 縦続接続構成	420
2.4 移動通信への応用	421
2.4.1 PHS 通信系における他セル干渉軽減	421
2.4.2 PHS 通信系における空間分割多元接続 (SDMA)	422
2.4.3 第3世代およびそれ以降の移動通信系への応用	424
参考文献	428

■ 3章 MIMO 空間多重システム 431

3.1 概要	431
3.2 空間多重	431
3.3 空間フィルタリング	432
3.3.1 SDM の送受信機構成	432
3.3.2 マルチビームスマートアンテナ	432
3.3.3 ZF アルゴリズム	433
3.3.4 MMSE アルゴリズム	434
3.3.5 ZF と MMSE との特性比較	435
3.4 V-BLAST と最尤検出	436
3.4.1 V-BLAST	436
3.4.2 誤り訂正の導入	439
3.5 MLD	440
3.5.1 MLD の原理	440
3.5.2 Sphere Decoding による簡略化	442
3.6 E-SDM	443
3.6.1 固有ビームによる送信ビーム形成	443
3.6.2 E-SDM の受信手法	444
3.6.3 実システムにおける伝送レート・送信電力制御手法	446
3.6.4 E-SDM の誤り率特性	446

■ 4 章 到来方向推定 449

4.1 高分解能推定法 449

4.1.1 受信信号モデル 449

4.1.2 ビーム形成に基づく到来方向推定法 450

4.1.3 部分空間法の基本概念 451

4.1.4 MUSIC 法とその関連手法 452

4.1.5 ESPRIT 法 456

4.1.6 コヒーレント波の到来方向推定 457

4.1.7 計算負荷軽減について 459

4.1.8 最尤推定法に基づく手法 461

4.2 応用技術 462

参考文献 467

■ 5 章 レーダ信号処理 470

5.1 合成開口レーダ 470

5.1.1 レーダの概念 470

5.1.2 合成開口レーダの概念 470

5.1.3 レンジ方向の高分解能化技術（パルス圧縮技術） 471

5.1.4 アジマス方向の高分解能化技術（合成開口処理） 472

5.2 車載レーダ 474

5.2.1 レーダ方程式 474

5.2.2 車載レーダの特徴 474

5.2.3 車載レーダの一例 477

5.3 地中レーダ 480

5.3.1 岩石・地層の電気的性質 480

5.3.2 地中の電波伝搬と反射 480

5.3.3 GPR 装置と周波数の選択 481

5.3.4 GPR 計測技術 482

5.3.5 信号処理 483

5.3.6 GPR の応用 485

5.3.7 今後の展望 485

参考文献 485

■ 6 章 校正法 487

6.1 概要 487

6.2 アナログ系の校正技術 487

6.2.1 アレーアンテナを用いたハードウェア構成と通信方法 487

6.2.2 アレーアンテナ装置に要求される校正 488

6.2.3 校正技術 490

6.2.4 特性例 494

6.3 アンテナ素子間相互結合の校正技術 495

6.3.1 アレーアンテナと素子間相互結合 495

6.3.2 素子間相互結合の校正手法	497
参考文献	500

VI編 伝送方式

[編主任：大槻知明]

■ 1章 情報理論 504

1.1 情報量とエントロピー	504
1.1.1 自己情報量	504
1.1.2 エントロピー	504
1.1.3 条件付き自己情報量と相互情報量	505
1.1.4 結合エントロピー	506
1.1.5 条件付きエントロピー	506
1.1.6 平均相互情報量	507
1.1.7 連続情報源の情報量	507
1.1.8 エントロピー最大となる確率密度分布	508
1.2 SISO チャンネル容量	509
1.2.1 チャンネル容量とチャンネル符号化定理	509
1.2.2 ガウス通信路のチャンネル容量	510
1.3 MIMO チャンネル容量	511
1.3.1 結合ガウス過程	511
1.3.2 複素結合ガウス過程のエントロピー	512
1.3.3 MIMO チャンネルへの拡張	513
1.3.4 送信側でチャンネル未知の場合の最適送信相関行列	514
1.3.5 送信側でチャンネル既知の場合の最適送信相関行列	516
参考文献	518

■ 2章 誤り制御技術 519

2.1 ブロック符号	519
2.1.1 ブロック符号	519
2.1.2 (7, 4) ハミング符号	519
2.1.3 BCH 符号	521
2.1.4 リードソロモン (RS) 符号	521
2.2 畳み込み符号	521
2.2.1 畳み込み符号の構造	521
2.2.2 状態遷移	522
2.2.3 ビタビ復号	522
2.2.4 軟判定ビタビ復号	524
2.3 トレリス符号化変調	525
2.3.1 トレリス符号化変調	525
2.3.2 トレリス符号化変調の復号	526
2.3.3 自由ユークリッド距離と信号点のマッピング	527
2.4 ターボ符号	529
2.4.1 ターボ符号の概要	529
2.4.2 復号アルゴリズム	530

2.4.3	復号特性	532
2.4.4	特性解析	533
2.4.5	ターボ符号の適用事例	534
2.4.6	実時間動作ターボ復号器の構成例	535
2.5	LDPC 符号	536
2.5.1	LDPC 符号の概要	536
2.5.2	LDPC 符号の定義	536
2.5.3	LDPC 符号の二部グラフ表現	537
2.5.4	LDPC 符号の構成法	538
2.5.5	二部グラフの構造と復号性能	539
2.5.6	LDPC 符号の復号特性の特徴	539
2.5.7	Structured LDPC 符号	540
2.5.8	sum-product 復号法の特徴	540
2.5.9	MAP 復号法と sum-product 復号法	540
2.5.10	Sum-product 復号法の詳細	541
2.5.11	実装のための sum-product 単元化復号法の単元化	543
2.6	時空間符号	543
2.6.1	MIMO 通信路モデル	543
2.6.2	時空間ブロック符号 (STBC)	544
2.6.3	時空間トレリス符号 (STTC)	548
2.7	自動再送要求 (ARQ)	553
2.7.1	概要	553
2.7.2	従来方式	553
2.7.3	ハイブリッド方式	555
2.7.4	N チャンネル Stop-and-Wait ARQ 方式	557
	参考文献	557

3 章 変復調方式	561
------------------	------------

3.1	アナログ変調	561
3.1.1	振幅変調	561
3.1.2	周波数変調	566
3.2	デジタル変調	570
3.2.1	PCM と伝送符号化	571
3.2.2	ASK	572
3.2.3	FSK	574
3.2.4	PSK	576
3.2.5	DPSK	580
3.2.6	多値変調と QAM	581
3.3	スペクトル拡散変調	583
3.3.1	直接拡散方式	583
3.3.2	DS 方式の耐干渉性	585
3.3.3	DS 方式の CDMA への応用	585
3.3.4	DS-CDMA 方式で用いられる技術	586
3.3.5	周波数ホッピング (FH) 方式	589
3.3.6	FH 方式の耐干渉性	590
3.3.7	FH 方式の CDMA への応用	590

3.3.8	CDMA 方式と各種多元接続方式	591
3.4	直交周波数分割多重 (OFDM) 変調	593
3.4.1	OFDM 信号の構成	593
3.4.2	OFDM 変調器の構成	595
3.4.3	OFDM 復調器の構成	596
3.4.4	マルチパスとガードインタバル	597
3.4.5	OFDM の復調特性	599
3.4.6	OFDM 信号の同期方式	602
3.4.7	伝送路ひずみの補正	604
3.4.8	OFDM システムの特性向上	607
3.4.9	適応サブキャリア変調	609
3.4.10	PAPR の軽減	610
3.5	UWB	610
3.5.1	インパルスラジオ方式	611
3.5.2	実用に向けた UWB 無線通信方式	619
	参考文献	625

VII 編 無線システム

[編主任：三瓶政一]

■ 1 章 無線システムの概要 630

1.1	無線システムの基本技術	630
1.1.1	フェージングと無線通信	630
1.1.2	1980 年代のフェージング対策技術	631
1.1.3	1990 年代のフェージング対策技術	631
1.1.4	2000 年以降のフェージング対策	631
1.1.5	周波数有効利用技術	632
1.2	無線通信システムの回線設計	632
1.2.1	孤立セルシステムの回線設計	632
1.2.2	セルラシステムの回線設計	633
1.3	無線システムの変遷	634

■ 2 章 固定系ワイヤレスシステム 635

2.1	地上波デジタル放送	635
2.1.1	はじめに	635
2.1.2	地上波デジタル放送の概要	635
2.1.3	OFDM 技術	638
2.2	マイクロ波通信	642
2.2.1	はじめに	642
2.2.2	マイクロ波の概要	642
2.2.3	マイクロ波通信方式の概要	644
2.2.4	マイクロ波通信方式の具体例	646
2.2.5	将来のマイクロ波通信	649
2.3	衛星通信	650
2.3.1	通信衛星の概要	650

2.3.2	衛星通信システム	652
2.3.3	通信衛星の高度化技術	654
2.4	成層圏プラットフォーム	656
2.4.1	成層圏の利用	656
2.4.2	成層圏プラットフォームを使った無線ネットワーク	656
2.4.3	成層圏プラットフォーム用機体	657
2.4.4	成層圏プラットフォームにおける周波数共用技術	657
2.4.5	日本における成層圏プラットフォーム開発	659
2.4.6	成層圏プラットフォームにおけるアンテナシステム	660
	参考文献	662

■ 3章 携帯電話システム

663

3.1	概要	663
3.2	W-CDMA システム	664
3.2.1	W-CDMA システム開発の背景	664
3.2.2	W-CDMA システム方式概要	664
3.3	HSDPA システム	671
3.3.1	HSDPA 開発の背景	671
3.3.2	HSDPA 技術の概要	672
3.3.3	HSDPA 標準仕様概要	673
3.3.4	HSDPA 無線伝送特性	675
3.4	CDMA2000 システム	676
3.4.1	はじめに	676
3.4.2	cdmaOne	677
3.4.3	CDMA2000 1X	678
3.4.4	CDMA2000 1xEV-DO	680
3.4.5	CDMA2000 1xEV-DV	680
3.4.6	次世代 CDMA2000	681
3.4.7	CDMA2000 の展開	682
3.4.8	標準化	683
3.5	CDMA2000 1xEV-DO システム	683
3.5.1	システム概要	683
3.5.2	要素技術	684
3.5.3	CDMA 2000 1xEV-DO Revision A	686
3.5.4	1xEV-DO の今後	688
3.5.5	サービス	688
3.6	TD-CDMA	689
3.6.1	Duplex	690
3.6.2	TDD の特徴	690
3.6.3	IMT-2000	692
3.6.4	TD-CDMA の歴史	692
3.6.5	TD-CDMA と W-CDMA との整合性	692
3.6.6	TD-SCDMA	693
3.6.7	TD-SCDMA (MC) (NAVINI 社)	693
3.6.8	iBurst	693
3.6.9	高度化 PHS	693

3.6.10 TD-CDMA の商用製品	693
3.6.11 その他の技術動向について	694
参考文献	695

■ 4章 プライベートネットワーク用ワイヤレスアクセス方式 697

4.1 概要	697
4.2 802.11	700
4.2.1 802.11 無線 LAN 発展の経緯	700
4.2.2 802.11 無線 LAN の標準化	701
4.2.3 802.11 無線 LAN の無線周波数	702
4.2.4 802.11 無線 LAN のメディアアクセス制御 (MAC) 層技術	704
4.2.5 802.11 オリジナル規格の物理層技術	709
4.3 802.11b	711
4.4 802.11a	712
4.5 802.11g	716
4.6 802.11e	717
4.6.1 QoS とは	718
4.6.2 802.11e の機能概要	718
4.6.3 EDCA	718
4.6.4 HCCA	720
4.6.5 QAP による流量制御	721
4.6.6 DLS	722
4.6.7 Block ACK	722
4.6.8 APSD	722
4.6.9 上位層同期のためのオプション仕様	722
4.6.10 むすび	723
4.7 Bluetooth	723
4.7.1 Bluetooth のコンセプト	723
4.7.2 ネットワーク構成	723
4.7.3 通信方式	724
4.8 ZigBee	727
4.8.1 ZigBee プロトコル	727
4.8.2 IEEE 802.15.4 のデバイスタイプ	728
4.8.3 物理層	728
4.8.4 MAC 層	729
参考文献	732

VIII編 回路・機器・素子・材料

[編主任：野原光夫]

■ 1章 回路・デバイス参照モデル 734

[章担当：野原光夫]

■ 2章 携帯電話基地局用回路・機器・素子・材料 **736**

[章担当：石川禎典・山尾 泰]

2.1	携帯電話基地局の概要	736
2.2	基地局用回路・機器・素子・材料の例 (W-CDMA, CDMA2000)	738
2.2.1	変復調装置	738
2.2.2	増幅装置	739
2.2.3	分配・フィルタ系	740
2.2.4	光ファイバ無線伝送装置	742
	参考文献	742

■ 3章 携帯電話端末用回路・機器・素子・材料 **743**

[章担当：岡田 隆・木村 滋]

3.1	端末用回路・機器・素子・材料の概要	743
3.1.1	ハードウェア構成	743
3.1.2	無線系要求性能	744
3.2	端末用回路・機器・素子・材料の例 (W-CDMA, cdma2000)	747
3.2.1	W-CDMA チップセット	747
3.2.2	cdma2000 用携帯端末機用チップセット	750
3.2.3	PA (パワーアンプ)	753
3.2.4	アンテナ共用器 (デュプレクサ)	754
3.2.5	SAW フィルタ	755
3.2.6	TCXO	756
3.2.7	液晶ディスプレイ (LCD)	758
3.2.8	カメラモジュール	759
	参考文献	761

■ 4章 無線アクセスシステム用回路・機器・素子・材料 **762**

[章担当：藤本芳宣]

4.1	システム構成	762
4.1.1	PP 無線アクセスシステム	762
4.1.2	802.11 応用 5 GHz 帯無線アクセスシステム	764
4.2	ベースバンド回路	765
4.2.1	ベースバンド部の構成	766
4.3	ベースバンドデバイスおよびその設計	769
4.3.1	デバイスの分類	769
4.3.2	デバイスの構造	770
4.3.3	デバイスの動向	772
4.3.4	ASIC パッケージの動向	773
4.3.5	デバイス比較	775
4.3.6	設計手法	776
	参考文献	779

■ 5 章 ミリ波通信・レーダシステム用回路・機器・素子・材料 780

[章担当：村上圭司]

5.1	ミリ波通信システム	780
5.1.1	ミリ波通信システムの特徴	780
5.1.2	ミリ波通信システムの例	780
5.2	準ミリ・ミリ波帯通信用 RF 送受信デバイス	782
5.2.1	デバイスのトレンド	782
5.2.2	送信増幅器	783
5.2.3	受信増幅器 (LNA)	785
5.2.4	電圧制御発振器 (VCO)	786
5.2.5	ミキサ (MIX)	787
5.3	レーダシステム	788
5.3.1	レーダリモートセンシング	788
5.3.2	システム構成	790
5.3.3	レーダアンテナ	791
5.3.4	送受信システム	791
5.3.5	信号処理システム	793
5.3.6	システム例	793
5.4	その他の将来の高周波通信	795
5.4.1	高周波通信システム	796
5.4.2	RF デバイス, ベースバンド処理, 制御の課題	798
	参考文献	798

■ 6 章 光空間通信システム用回路・機器・素子・材料 799

[章担当：里方昭彦]

6.1	概要	799
6.2	赤外線通信	799
6.2.1	システム構成	799
6.2.2	発光・受光デバイス	801
6.2.3	光学系	801
6.2.4	制御系	802
6.2.5	その他	803
6.2.6	最後に	804
6.3	屋外光無線通信・光無線 LAN	804
6.3.1	屋外光無線通信・光無線 LAN の概要	804
6.3.2	システム構成	804
6.3.3	発光・受光デバイス	806
6.3.4	光学系	806
6.3.5	制御系	806
6.3.6	将来への展開	806
6.4	可視光通信	807
6.4.1	可視光通信の特長	807
6.4.2	可視光通信のアプリケーション	808
6.4.3	システム構成	810
6.4.4	発光・受光デバイス	811

6.4.5 技術的課題と将来への展開	812
参考文献	813

■ 7章 無線アクセスシステム関連回路・機器・素子・材料 814

[章担当：野原光夫]

7.1 PHS 関連	814
7.1.1 PHS の概要	814
7.1.2 スマートアンテナ，空間多重の実用化例	815
7.2 Bluetooth	818
7.3 RF-ID	822
7.3.1 RF-ID タグの分類	822
7.3.2 パッシブ方式 RF-ID タグにおけるアンテナの役割	823
7.3.3 通信距離	824
7.3.4 アンチコリジョン	825
7.3.5 今後の課題など	826
7.4 端末用電池技術	826
7.4.1 一次電池	829
7.4.2 二次電池	829
7.4.3 燃料電池（メタノール燃料電池）	829
参考文献	830

IX編 ネットワーク

[編主任：寺岡文男]

■ 1章 ネットワークアーキテクチャ 832

1.1 階層モデル	832
1.1.1 階層モデルとプロトコルエンティティ	832
1.1.2 サービス，サービスアクセスポイント（SAP）	832
1.1.3 プロトコル	832
1.1.4 PDU, SDU, PCI	832
1.1.5 OSI の基本参照モデル	833
1.1.6 インターネットの階層モデル	834
1.2 通信方式	834
1.2.1 回線交換	834
1.2.2 パケット交換	834
1.2.3 バーチャルサーキット	835
1.2.4 データグラム	835
1.2.5 コネクション指向	835
1.2.6 コネクションレス	835
1.3 インターネットワーキング	835
1.3.1 インターネットワーキングの役割	835
1.3.2 インターネット	836
1.3.3 ホスト，ルータ，ノード，ブリッジ，リピータ	836
1.3.4 MACアドレス，IPアドレス，ポート	836
1.4 インターネットにおける標準化	836

1.4.1	RFC	836
1.4.2	IETF	837
1.4.3	IESG	837
1.4.4	IRTF	837
1.4.5	IAB	837
1.4.6	IANA, ICANN	837
	参考文献	837

■ 2章 ネットワーク層

839

2.1	IP の役割	839
2.2	IPv4	839
2.2.1	IPv4 アドレス	839
2.2.2	CIDR	840
2.2.3	ユニキャスト, マルチキャスト, ブロードキャスト	840
2.2.4	IPv4 ヘッダフォーマット	840
2.2.5	IPv4 のオプション	841
2.2.6	フラグメンテーションとリアセンブリ	841
2.2.7	DHCP	842
2.2.8	ARP	843
2.3	IPv6	843
2.3.1	IPv6 の開発経緯	843
2.3.2	IPv6 の設計思想	843
2.3.3	IPv6 アドレス	844
2.3.4	IPv6 アドレスのタイプ	844
2.3.5	グローバルユニキャストアドレス	844
2.3.6	IPv6 アドレスの自動設定	845
2.3.7	IPv6 のヘッダフォーマット	845
2.3.8	IPv6 の拡張ヘッダ	846
2.3.9	近隣発見プロトコル	846
2.4	ICMP	846
2.4.1	ICMPv4	847
2.4.2	ICMPv6	847
2.5	経路制御	848
2.5.1	経路制御の役割	848
2.5.2	経路表	848
2.5.3	EGP と IGP	848
2.5.4	Distance Vector 型アルゴリズム	848
2.5.5	Link State 型アルゴリズム	849
	参考文献	849

■ 3章 トランスポート層

851

3.1	概要	851
3.2	TCP	851
3.2.1	TCP の提供する通信サービス	851
3.2.2	TCP の基本機能	852

3.2.3	転送制御機構	853
3.2.4	ふくそう制御機構	856
3.2.5	無線環境における TCP	857
3.3	その他のトランスポート技術	858
3.3.1	UDP	858
3.3.2	RTP	858
3.3.3	RTCP	859
3.4	次世代トランスポートプロトコル	860
3.4.1	SCTP	860
3.4.2	DCCP	861

■ 4章 アプリケーション層 863

4.1	概要	863
4.2	アプリケーションの動作モデル	863
4.2.1	クライアント・サーバモデル	863
4.2.2	ピアツーピアモデル	863
4.3	DNS	864
4.3.1	DNS の役割	864
4.3.2	名前空間の構造	864
4.3.3	DNS の構造	865
4.3.4	名前解決処理	865
4.3.5	リソースレコード	866
4.4	電子メール	867
4.4.1	電子メールシステムの構成	867
4.4.2	メッセージフォーマット	868
4.4.3	メールアドレス	868
4.4.4	MIME	869
4.4.5	SMTP	869
4.4.6	POP3	871
4.5	WWW	872
4.5.1	URI, URL	872
4.5.2	WWW システムの構成	873
4.5.3	HTTP	873
4.5.4	HTML	877
	参考文献	878

■ 5章 セキュリティ 879

5.1	暗号系	879
5.1.1	共通鍵暗号系	879
5.1.2	公開鍵暗号系	879
5.1.3	ハッシュ関数	880
5.2	認証技術	880
5.2.1	Kerberos	881
5.2.2	PKI	881
5.2.3	鍵付きハッシュ	882

5.2.4	EAP	883
5.3	アカウント管理	883
5.3.1	AAA	883
5.3.2	RADIUS	885
5.3.3	DIAMETER	886
5.3.4	LDAP	886
5.4	通信路の保護	887
5.4.1	IPsec/IKE	887
5.4.2	TLS (SSL)	888
5.4.3	VPN	889
5.5	アクセス制限	889
5.5.1	NATとNAPT	889
5.5.2	ファイアウォール	890
	参考文献	891

■ 6章 モビリティ対応 893

6.1	モビリティサポートの必要性	893
6.1.1	Mobile IPv4 Base Protocol	894
6.1.2	Reverse Tunneling	896
6.1.3	Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices	896
6.1.4	MIPv4 Regional Registration	897
6.1.5	Low Latency Handoff	898
6.2	Mobile IPv6	899
6.2.1	Mobile IPv6の動作	900
6.2.2	Route Optimization and Return Routability	901
6.2.3	Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)	903
6.2.4	Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)	905
6.3	NEMO	906
	参考文献	907

■ 7章 アドホックネットワーク 908

7.1	アドホックネットワークとは	908
7.1.1	概要	908
7.1.2	アドホックネットワークの歴史	908
7.2	フラッディング	909
7.2.1	フラッディングとは	909
7.2.2	古典的フラッディング	909
7.2.3	MPR	909
7.3	MANET 経路制御プロトコル	909
7.3.1	MANET 経路制御プロトコルの研究背景	909
7.3.2	Reactive 型経路制御技術	910
7.3.3	Proactive 型経路制御技術	910
7.3.4	Hybrid 型経路制御技術	910

7.3.5	Experimental RFC の発行	910
7.3.6	最新標準化動向 (国際標準へ向けて)	910
7.4	AODV	910
7.4.1	概要	910
7.4.2	経路探索	911
7.4.3	経路応答	912
7.4.4	経路管理	912
7.4.5	経路修復	912
7.4.6	シーケンス番号管理	913
7.5	OLSR	913
7.5.1	概要	913
7.5.2	MPR の動作概要 (HELLO メッセージ)	914
7.5.3	経路管理 (TC メッセージの交換)	915
7.5.4	その他の機能 (MID/HNA メッセージ)	915
7.6	その他のプロトコル (DSR, TBRPF, OLSRv2, DYMO, ZRP)	916
7.6.1	DSR	916
7.6.2	TBRPF	916
7.6.3	OLSRv2	916
7.6.4	DYMO	917
7.6.5	ZRP	917
7.7	インターネット接続技術	917
7.7.1	インターネット接続とは	917
7.7.2	Global6	917
7.8	アドレス割当て	918
7.8.1	アドレス割当てとは	918
7.8.2	IP Address Autoconfiguration for Ad Hoc Networks	919
	参考文献	919

X 編 付 録

[編主任：中川正雄]

■ 1	周波数利用状況一覧	922
1.1	概要	922
1.2	我が国の電波の利用状況	923
■ 2	無線通信技術に関する国際標準化	931
■ 3	テイラー指向性と後藤-渡辺の最適指向性	934
3.1	直線開口	934
3.2	円形開口	934
	参考文献	940
	索引	941

