

# 目 次

## 1 章 アンテナと無線通信システム

1.1 無線通信システムの構成 .....	1
1.2 アンテナと送受信機器間のインピーダンス整合 .....	2
1.3 アンテナに供給される高周波信号の周波数とその帯域 .....	3
1.3.1 1 次変調の概要 .....	3
1.3.2 周波数拡散方式 .....	6
1.3.3 従来の無線通信方式 .....	7
1.3.4 MIMO 通信システム .....	8
1.3.5 MIMO の応用例 .....	9
1.3.6 空間・スペクトル拡散方式 .....	10
1.4 電磁波の周波数と波長の関係 .....	12
1.5 電波の周波数区分 .....	12
1.6 無線 LAN .....	14
演習問題 .....	14

## 2 章 高周波伝送線路とその設計

2.1 伝送線路の伝送特性の解析と設計 .....	15
2.1.1 伝送線路上の電圧と電流の分布 .....	15
2.1.2 伝送線路の入力端ならびに出力端における反射係数 .....	20
2.1.3 伝送線の入力インピーダンス .....	23
2.1.4 伝送線上の定在波 .....	24
2.1.5 伝送線の入力電力 .....	29
2.1.6 インピーダンスの不整合による電力損失 .....	31
2.2 伝送線路の特性インピーダンス .....	32
2.2.1 平行円形伝送線 .....	32
2.2.2 平行・平板伝送線 .....	34
2.2.3 マイクロストリップ線 .....	35
2.2.4 同軸ケーブル .....	36
2.3 整合回路の設計 .....	37

2.3.1 整合条件 .....	37
2.3.2 整合回路の設計例 .....	38
2.3.3 スミス図表による設計 .....	40
2.3.4 マイクロストリップ線を用いた整合回路 .....	47
演習問題 .....	50

### 3 章 アンテナと電磁波の基礎

3.1 電磁波の諸性質 .....	53
3.2 電磁界の方程式 (マクスウェルの方程式) .....	54
3.2.1 概 説 .....	54
3.2.2 マクスウェルの方程式 .....	55
3.2.3 定常状態のマクスウェルの方程式 .....	58
3.3 直交座標系による電磁界の計算 .....	59
3.3.1 ベクトルの発散ならびに回転 .....	59
3.3.2 平面電磁波の波動方程式 .....	61
3.3.3 平面電磁波の定常状態の波動方程式 .....	63
3.3.4 波動方程式の解 .....	64
3.3.5 波動方程式の例 .....	65
3.3.6 減衰定数, 位相定数ならびに伝搬定数の間の関係 .....	68
3.3.7 直線偏波と円偏波 .....	69
3.3.8 ポインティングベクトル .....	72
3.4 極座標系による電磁界の計算 .....	73
3.4.1 ベクトルポテンシャル .....	73
3.4.2 微小ダイポールのベクトルポテンシャル .....	74
3.4.3 微小ダイポールによる磁界の計算 .....	77
3.4.4 微小ダイポールによる電界の計算 .....	78
3.4.5 微小電気ダイポールから放射される電界の成分 .....	79
3.4.6 電流源と磁流源の変換 .....	80
3.4.7 相反の定理 .....	82
3.4.8 ヘルツダイポール (アンテナ) から放射される電力 .....	84
3.5 電磁波の反射と透過 .....	87
3.5.1 境界条件 .....	87
3.5.2 平面電磁波の反射と透過 .....	90
3.6 導波管の電磁界の計算 .....	94

3.6.1	直交座標系におけるマクスウェルの方程式 .....	94
3.6.2	矩形導波管内の電磁界の計算 .....	96
3.6.3	空洞共振器 .....	101
3.6.4	導波管への給電 .....	101
3.6.5	導波管の各種回路 .....	102
3.7	電磁界の解析用計算機ソフトウェア .....	106
3.7.1	FDTD法の概要 .....	106
3.7.2	FDTD法のアルゴリズム .....	106
	演習問題 .....	107

## 4章 各種のアンテナ

4.1	ダイポールアンテナの放射特性 .....	109
4.1.1	電界強度ならびに磁界強度 .....	109
4.1.2	$\lambda/2$ ダイポールアンテナから放射される電力 .....	113
4.1.3	アンテナの特性を表すパラメータ .....	119
4.2	線状の定在波（共振）アンテナ .....	125
4.2.1	$\lambda/2$ ダイポールアンテナ .....	125
4.2.2	モノポールアンテナ .....	129
4.2.3	ターンスタイルアンテナ .....	133
4.2.4	スーパーゲインアンテナ .....	135
4.2.5	ループアンテナ .....	135
4.2.6	その他の線状定在波アンテナ .....	139
4.3	線状の進行波アンテナ .....	140
4.3.1	進行波直線状アンテナ .....	140
4.3.2	菱形アンテナ .....	141
4.3.3	ヘリカルアンテナ .....	142
4.4	開口面アンテナ .....	144
4.4.1	実空間とスペクトル空間の関係 .....	144
4.4.2	スロットアンテナ .....	146
4.4.3	電磁ホーンアンテナ .....	149
4.4.4	パラボラアンテナ .....	150
4.4.5	誘電体レンズアンテナ .....	155
4.5	マイクロストリップアンテナ .....	156
4.5.1	パッチアンテナ .....	156

4.5.2	他のプリントパターンアンテナの例 .....	159
4.6	フラクタルアンテナ .....	161
4.6.1	フラクタルの構造.....	161
4.6.2	フラクタルアンテナの例 .....	162
4.6.3	コッホ・フラクタルアンテナの設計例 .....	162
4.6.4	シェルピンスキー・フラクタルアンテナの例.....	164
4.7	アレーアンテナ .....	164
4.7.1	1次元配列のアレーアンテナによる電界強度 .....	164
4.7.2	八木・宇田アンテナ .....	169
4.7.3	対数周期配列アンテナ .....	173
4.7.4	コリニア・アレーアンテナ .....	175
4.7.5	アクティブ・アレーアンテナ .....	175
4.7.6	移相器の方式 .....	177
4.8	アンテナに関する測定 .....	177
4.8.1	アンテナの特性の測定方法 .....	177
4.8.2	アンテナの温度の測定 .....	180
4.9	複合形アンテナの実例 .....	181
4.9.1	実例 1 .....	181
4.9.2	実例 2 .....	182
	演習問題 .....	183

## 5章 電波伝搬

5.1	電波伝搬の概要 .....	185
5.1.1	電波の伝搬モード.....	185
5.1.2	周波数帯域ごとの電波伝搬の特徴 .....	187
5.1.3	電界強度の高度による変化 .....	188
5.1.4	水中における電波の伝搬定数の周波数特性 .....	188
5.1.5	フェーディング .....	190
5.1.6	見通し距離外への電波伝搬の例 .....	191
5.2	地上波の伝搬 .....	192
5.2.1	地表波の伝搬 .....	192
5.2.2	直接波の伝搬 .....	192
5.2.3	大地（地上）反射波の伝搬 .....	196
5.2.4	HF 波帯以下の地上波の伝搬例 .....	198

5.2.5	山岳回折波の伝搬	199
5.3	対流圏波の伝搬	201
5.3.1	ダクトによる伝搬	201
5.3.2	対流圏における電波の散乱と吸収	203
5.3.3	ダイバシティ受信方式	204
5.4	電離層反射波の伝搬	205
5.4.1	電離層の生成	205
5.4.2	電離層反射波の伝搬様式	208
5.4.3	臨界周波数とその測定	208
5.4.4	最大使用可能周波数 (MUF)	209
5.4.5	電離層伝搬における障害	210
5.4.6	VHF 波帯から SHF 波帯の通信に与える電離層の影響	216
5.5	周波数帯別の電波の伝搬特性	218
5.5.1	30 kHz (VLF 波帯) 以下の電波の伝搬	218
5.5.2	30 kHz-3 MHz (LF 波帯から MF 波帯) の電波の伝搬	219
5.5.3	3 MHz-30 MHz (HF 波帯) の電波の伝搬	220
5.5.4	30 MHz-3 GHz (VHF 波帯から UHF 波帯) の電波の伝搬	220
5.5.5	3 GHz (SHF 波帯) 以上の電波の伝搬	222
	演習問題	225

## 6 章 電波伝搬路における電界強度と受信電力の計算方法

6.1	見通し距離内の受信電力の計算方法	227
6.1.1	垂直ダイポールアンテナを使用した送・受信システムの例	227
6.1.2	パラボラアンテナを使用した送・受信システムの例	229
6.1.3	物体の反射信号強度の計算例	230
6.2	地上波の電界強度の計算方法	231
6.2.1	地表波の電界強度の計算例	231
6.2.2	球形モデルによる地上波の電界強度の計算例	233
6.3	伝搬経路に障害物がある場合の減衰量の計算方法	235
6.3.1	山岳回折による減衰量の計算例	235
6.3.2	建物の回折による減衰量の計算例	237
6.4	周波数の再利用の方法	239
6.4.1	サービスエリアの決定方法	239
6.4.2	セル配列の例	240

演習問題 .....	240
演習問題解答 .....	241
参考文献 .....	255
索 引 .....	263