

# MATLAB による デジタル無線通信技術

博士(工学) 神谷 幸宏 著

コロナ社

## まえがき

本書は、単に数値計算ソフトウェア MATLAB を使ったデジタル無線通信技術のプログラミング方法を解説するのみでなく、新しいシナリオからデジタル無線通信技術の理解に役立てる本を目指して書かれたものである。

筆者が在籍する大学で、最も難しい科目はなにかと学生に尋ねると、多くが「通信工学」と答えるようである。通信工学の難しさとはなにか、と筆者は真剣に考えてみた。まず、第一に、目に見えない概念で構成されていることが挙げられる。位相や周波数、相関などがそれである。情報理論もそうである。第二に、それらが複素数という、 $j = \sqrt{-1}$  と唐突に与えられた虚数単位を使った方法で表現されたり、確率というピンと来ない概念で記述されたりすることである。しかし、それらはアイデアの一表現方法にすぎない。そこで表現されているアイデアを理解するうえで重要なのは、数式の導出や定理の証明ではなく、「シナリオ」の理解である。「なにをしようとしてこんなことをしているのか」、その間が最も重要であるとの考えから、本書が目指したのは「シナリオ」の表出と、その理解を容易にする内容と構成である。

それを目指し、筆者は渾身の努力を本書に投入したが、紙の上に文字と数式、図面だけで表現することの難しさを改めて痛感した。筆者の目指したところが 100% 実現されているとはいえないかもしれない。しかし救いは、MATLAB の m-file (プログラム) 例を添付できたことである。

現代は素晴らしい時代であると実感することの一つに、パーソナルコンピュータの発展・普及とそれに伴うソフトウェア技術の発展がある。昔では考えられなかったような性能のコンピュータを個人でさえ購入できる。そして、自分のアイデアをコンピュータの中に実現し、その挙動を簡単に見て、感じることができる。数式の理解も重要であるが、実際に手を動かして数式をソフトウェ

アとして実現してみることでさまざまなことに気づくことができる。プログラム例は、MATLABのみならず、MATLABに似た特徴を持つ行列演算フリーソフトウェアなどでも実現できるような内容とするのを心掛けている。読者におかれてはぜひ、プログラムの作成、実行および検証を試みられたい。

本書を書くきっかけをいただいた東京農工大学大学院教授 宇野亨先生に衷心より感謝申し上げます。また、本書の完成に多大なる御尽力をいただきましたコロナ社の皆様に厚く御礼申し上げます。

2008年10月

神谷 幸宏

# 目 次

## 1. 本書の特徴と構成

1.1 本書の特徴	1
1.2 デジタル通信の概観：デジタル通信とアナログ通信	2
1.3 本書が対象とする範囲および目的	6
1.4 本書の信号表現	7

## 2. MATLAB の概要

2.1 コマンドウィンドウからの基本的行列操作	8
2.2 m-file の作成	12
2.3 clear all の重要性	13
2.4 データの保存と読み込み	14
2.5 関数の作成	14
2.6 MATLAB プログラミングにおける鉄則	15
2.7 ヘルプの利用	17

## 3. 信号理論の基礎

3.1 複素数と解析的信号	18
3.2 相 関	24
3.3 整合フィルタの理論	27

3.4 MATLAB プログラミングの要点 .....31

## 4. 変復調技術

4.1 BPSK .....33  
4.1.1 BPSK の原理 .....33  
4.1.2 BPSK のシミュレーション .....37  
4.2 QPSK への多値化 .....41  
4.3 帯域制限 .....45

## 5. マルチパスフェージング

5.1 周波数フラットフェージング .....56  
5.1.1 レイリー分布 .....56  
5.1.2 計算機シミュレーション .....58  
5.2 周波数選択性フェージング .....60  
5.2.1 周波数領域で見る周波数選択性フェージングの特性 .....62  
5.2.2 計算機シミュレーション .....64

## 6. フェージング対策としての スペクトル拡散方式と OFDM

6.1 基本的アイデア .....67  
6.2 スペクトル拡散 .....68  
6.2.1 原 理 .....68  
6.2.2 拡散系列 .....73  
6.2.3 RAKE 合成 .....81  
6.2.4 RAKE 合成の行列表現とプログラム例 .....83

6.3 OFDM .....	85
6.3.1 OFDM 送信機・受信機の構成の原理 .....	86
6.3.2 IFFT, FFT を用いた OFDM 送信機・受信機の構成 .....	89
6.3.3 遅延波が存在する環境における対策：ガードインターバル .....	92
6.3.4 プログラム例 .....	96

## 7. 複数アンテナを用いる技術

7.1 空間ダイバーシティ .....	100
7.1.1 選択ダイバーシティ .....	101
7.1.2 等利得合成 .....	101
7.1.3 最大比合成 .....	101
7.1.4 プログラム例 .....	107
7.2 アダプティブアレーアンテナ .....	108
7.2.1 アダプティブアレーアンテナの数学モデル .....	109
7.2.2 受信信号のモデル化 .....	109
7.2.3 重み係数による信号の取込みと打消しのメカニズム .....	113
7.2.4 ウィーナー解の導出 .....	114
7.2.5 アンテナ指向性の描画 .....	117
7.2.6 出力 SN 比の計算法 .....	118
7.2.7 アダプティブアレーアンテナの自由度 .....	119
7.2.8 逐次的な重み係数の推定法 .....	120
7.2.9 重み係数のブラインド推定：CMA 法 .....	121
7.2.10 プログラム例 .....	122
7.3 MIMO .....	126
7.3.1 信号の定式化とチャネル応答行列 .....	126
7.3.2 MMSE 基準による空間フィルタリング .....	127
7.3.3 特異値分解に基づくマルチモード伝送 .....	128
7.3.4 プログラム例 .....	130

## 8. 情報理論の概要

8.1	シャノンの通信路容量	132
8.2	情報理論の基礎	133
8.2.1	情報量と情報エントロピー	133
8.2.2	事後確率とあいまい度	136
8.2.3	相互情報量と通信路容量	139
8.2.4	連続信号への拡張	141
8.2.5	連続的通信路の通信路容量の導出	143
8.2.6	帯域制限された連続的通信路の通信路容量	145
8.3	誤り訂正符号の原理と畳込み符号	147
8.3.1	誤り訂正符号の全体像	147
8.3.2	誤り訂正符号の例：畳込み符号	150
8.3.3	プログラム例	156
8.4	サンプリング定理と理想フィルタ	158

## 付 録

1.	C言語を用いて作成した関数をMATLABから呼び出す方法	164
2.	信号処理からみた行列演算に関するメモ	167
3.	相関係数を用いたSN比の計算法	168
4.	自作関数一覧	169
1	MYantPattern アンテナパターン描画	
2	MYber BER計算	
3	MYbpskDemod BPSK復調器	
4	MYbpskMod BPSK変調器	
5	MYbpskTheoBER BPSKのBERの理論値の計算	
6	MYcompNoise 複素ガウス雑音	
7	MYcorrelator 相関器	
8	MYdelayProfile 遅延プロファイル生成	
9	MYfSelFading 周波数選択性フェージング通信路	
10	MYmseq M系列生成	

11	MYrandData	ランダムデータ系列生成	
12	MYrollOffFilter	ロールオフフィルタ	
13	MYsnr	SN 比の計算	
14	MYsteer	線形アレーアンテナのステアリングベクトル	
15	MYtdl	トランスバーサルフィルタ	
16	MYvec	ベクトル化	
引用・参考文献 .....			176
索	引	.....	177



# 記 号 表

$A$	振 幅	$s_R$	受信信号ベクトル ( $N_S \times 1$ )
$\mathbf{a}(\theta)=[a_1 \ a_2$ $\cdots a_{N_R}]^T$	ステアリングベクトル ( $N_R \times 1$ )	$T_C$	チップ間隔
$C[\tau]$	相関関数	$T_S$	シンボル間隔
$c$	定 数	$T_{SP}$	サンプル間隔
$\mathbf{c}$	拡散系列 ( $N_C \times 1$ )	$\mathbf{V}$	固有ベクトルを列に持つ 行列 ( $N_R \times N_R$ ) $\mathbf{V}=[\mathbf{v}_1 \ \mathbf{v}_2 \ \cdots \ \mathbf{v}_{N_R}]$
$\mathbf{c}_K$	チャネル推定用既知系列 ベクトル ( $N_K \times 1$ )	$\mathbf{v}$	固有ベクトル ( $N_R \times 1$ )
$D$	PN 系列の次数	vect( $\cdot$ )	ベクトル化演算子
$d$	アレーアンテナのアンテナ間隔	$\mathbf{X}$	アレーアンテナ受信信号 行列 ( $N_R \times N_S$ )
$E[\cdot]$	集合平均 (アンサンプル平均)	$\mathbf{x}[k]$	アレーアンテナ受信信号 ベクトル ( $N_R \times 1$ )
	$E[x[k]] = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x[k]$	$\cdot^H$	行列の複素共役転置
$j$	虚数単位	$\cdot^T$	行列の転置
$k$	離散時刻	$\alpha$	複素係数 (チャネル応答)
$N_{BE}$	誤りの数 [bit]	$\boldsymbol{\alpha}$	複素係数 (チャネル応答) ベクトル
$N_C$	拡散系列の周期 [chip]	$\beta$	忘却係数 ( $0 < \beta \leq 1$ )
$N_{Co}$	符号系列の長さ [bit]	$\Gamma$	SN 比
$N_F$	RAKE 合成のフィンガー数	$\eta$	電力 1 のガウス雑音を要素とするベクトル
$N_{GI}$	ガードインターバル数	$\eta_{mat}$	電力 1 のガウス雑音を要素とする行列
$N_K$	チャネル推定用既知系列長	$\theta$	信号到来角度
$N_P$	マルチパス環境におけるパス数	$\lambda$	波 長
$N_R$	受信アンテナの数	$\nu$	固有値
$N_S$	シンボル数	$\rho$	相関係数
$N_{SP}$	直並列変換器出力の数	$\tau$	遅 延
$N_T$	送信アンテナの数	$\phi$	位 相
$P_s$	信号電力	$\psi(\theta)$	アダプティブアレーアンテナにおける位相基準素子と隣接素子の受信信号位相差
$P_v$	雑音電力	$= \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$	
$\text{Pr}(E)$	事象 $E$ の確率		$\Psi = \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta\right)$
$Q$	評価関数		
$\mathbf{R}_{xx}$	相関行列 ( $N_R \times N_R$ )		
$\mathbf{s}$	信号ベクトル ( $N_S \times 1$ )		
SOFDMA	OFDM シンボル ( $N_{SP} \times 1$ )		

# 1

## 本書の特徴と構成

本章ではまず、本書の特徴を説明するとともに、デジタル無線通信技術のうち本書が対象とする分野を明らかにする。

### 1.1 本書の特徴

本書は以下に挙げるような特徴を持つ。

**MATLAB m-file の添付** デジタル通信の諸技術について、数値計算ソフトウェア MATLAB<sup>1)</sup> のスクリプトである m-file の記述を明記した。

**Toolbox を使わない m-file** MATLAB には、それぞれの応用分野に適した関数を集めた各種の Toolbox と称するライブラリがある<sup>2)</sup>。本書に掲載の m-file ではできる限り Toolbox を使わず、MATLAB 本体の関数だけを使ったスクリプトを作成するように心掛けた。このため、高価な MATLAB および各種 Toolbox を持っていない読者にも、無料で入手できる Scilab<sup>3)</sup> や Octave<sup>4)</sup> 等のパッケージを用いて本書を利用できる。ただし、本書に示した m-file は理解のしやすさへの配慮のため、行数は長いものになっている。さらに効率化する余地は多々あるので、試されたい。

**行列演算を基本とする表現** MATLAB を効率的に用いるためには、行列演算が不可欠である。つまり、C 言語などと異なり、プログラミングに際し、実現しようとするものを行列表現に読み替える必要がある。これが行われないと MATLAB はその計算に長時間を要する。本書では最初から行列表現

† 肩付き番号は巻末の引用・参考文献の番号を示す。

## 2 1. 本書の特徴と構成

を基本としてすべての数式を記述しており、MATLABプログラミングへの読み替えが容易である。また、行列演算は多くの数式からなる表現を一つにまとめて表現できる便利な表現でもある。このため、さまざまな数式表現を行列によって考えられるようになることは、通信工学の学習、研究において非常に重要である。

**時間領域からの説明** 本書では、単にプログラミングの仕方の解説にとどまらず、独自のシナリオにより各技術のわかりやすい説明を行うことにも注力している。通常は周波数領域で説明される信号処理などを時間領域から説明することにより、直観的イメージをつかみやすくすることに心掛けた。

本書では、現在の移動体通信技術、広くはデジタル無線通信技術の理解に必要な重要な基礎技術および理論について網羅した。添付の m-file を実際にコンピュータ上で作成し、各変数の状態を観察することにより、より感覚的、直観的に各技術をとらえることができる。なお、本書で示す MATLAB の m-file の中で使われている関数のうち、その名前が“MY”で始まるもの（例えば MYbpskMod.m）は、一覧として巻末の付録に掲載している。

### 1.2 デジタル通信の概観：デジタル通信とアナログ通信

現在、インターネットや携帯電話をはじめとするデジタル通信が広く普及している。ここでいうデジタル (digital) とはなにを意味するのだろうか。デジタルに対応する反対の言葉はアナログ (analog) であり、一般にもよく知られているが、デジタル通信とはなにが“デジタル”なのか。本章ではこの点から説き起こし、デジタル通信の概要について説明するとともに、本書が取り扱う内容を明らかにする。

**アナログ通信** アナログ通信では、音声などの情報信号をそのまま電圧などの変化に変換して伝送する。受信側では受信信号の波形から情報信号を復元し、再生する。そのイメージを図 1.1 に示す。例えば、音楽の音をマイクロフ

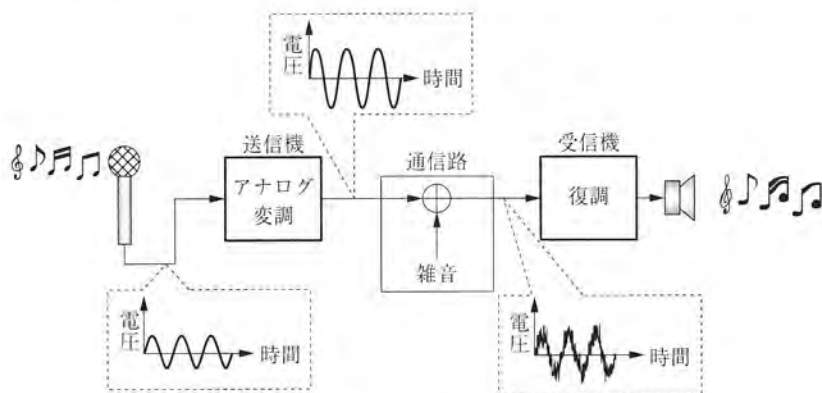


図 1.1 アナログ通信のイメージ

オンで電圧に変換する。アナログ通信では基本的にこの波形そのものを、搬送波の振幅や周波数に反映させて通信路に送出する。通信路では雑音加わるため、受信機で再生された音楽の品質は雑音の影響で劣化する。

**デジタル通信** 一方、デジタル通信ではもう少し多くの操作を必要とする。そのイメージを図 1.2 に示す。デジタル通信ではまず、音声などの連続的な情報信号を **A/D 変換器** (analog-to-digital converter) により標本化 (サンプリング, sampling) する。標本化された信号のイメージを図 1.3(a) に示す。

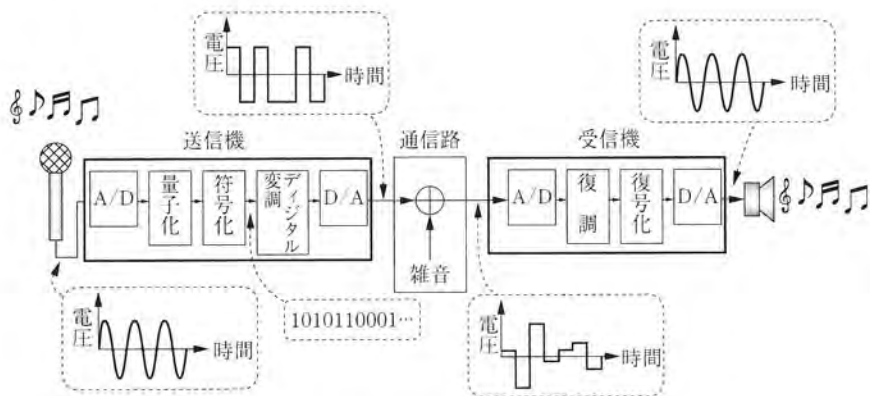
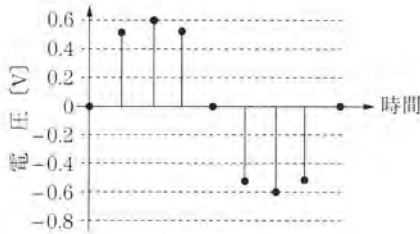


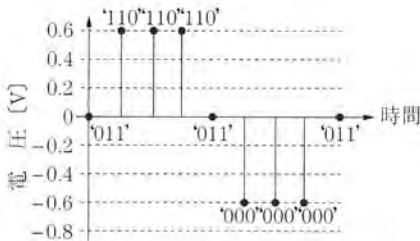
図 1.2 デジタル通信のイメージ



(a) 標本化された信号

電圧 [V]	対応する符号
0.6	'110'
0.4	'101'
0.2	'100'
0	'011'
-0.2	'010'
-0.4	'001'
-0.6	'000'

(b) 符号表



(c) 量子化と符号化

図 1.3 量子化と符号化

こうして得られた標本（サンプル）の電圧値のそれぞれを、図(b)に示す符号表を見て、1と0からなる符号の系列に置き換える。これが符号化であるが、ここで一つ問題が生じる。例えば図(a)の左から2番目のサンプルを見ると、電圧が0.4Vと0.6Vの間の値になっている。しかし、符号表を見ると、0.4Vのつぎは0.6Vとなっていて、このサンプルに対応する符号がないのである。どうすればいいのだろうか。その答は意外にも簡単である。0.4Vか0.6Vのどちらか近いほうに合わせてしまうのである。つまり、すべてのサンプルの値を、そこから最も近い「符号がある電圧」に丸めてしまう。これを**量子化** (quantization) と呼ぶ (図 1.3(c))。

量子化を行うことは、元信号のサンプルに変更を加えていることになり、見方を変えると雑音を加えているのに等しい。このため、量子化によるサンプルの元信号からの変化を**量子化雑音**と呼ぶ。符号のビット数を増やして符号の数を多くし、刻みの幅を縮めることによって量子化雑音を減らすことはできる

が、なくすことはできない。

つぎに、符号化についてももう少し詳しく見てみる。符号化には2種類ある。一つは情報源符号化 (source coding) であり、もう一つは通信路符号化 (channel coding) である。情報源符号化とは、図1.3(b)で示した符号化である。つまり、サンプルの値を符号に置き換える符号化のことである。画像圧縮のJPEGや動画圧縮のMPEGは情報源符号化の一種である。

これに対し、通信路符号化は、情報源符号化で得られた符号系列を送信する前に、これをさらに別の符号系列に置き換える符号化である。この符号化は、通信路で生じた誤りを、受信機で送信側に問い合わせることなく検出したり、訂正したりするために行う。本書の8章で説明する畳込み符号は誤り訂正符号の一例である。これらのイメージを図1.4に示す。

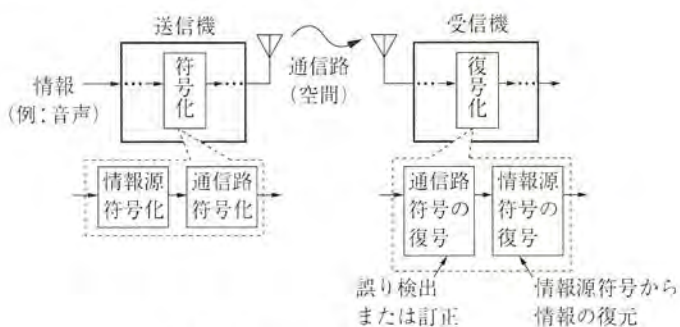


図1.4 情報源符号化と通信路符号化

**デジタルとアナログの得失** こうして見てみると、デジタル通信はアナログ通信よりも複雑な構成となっている。デジタル通信を構成する標準化、量子化、符号化は通信に限ったものではなく、デジタルカメラ、コンパクトディスクなどのデジタルオーディオのほか、あらゆるデジタルシステムに共通する構成である。

構成がより複雑であるにもかかわらず、デジタルが採用されている理由を表1.1より考えてみる。アナログの“得”とデジタルの“失”はこれまでの説明から理解できる。では、デジタルの“得”はなんだろうか。まず、情報

# 索 引

<b>【あ】</b>	
あいまい度	138
アダプティブアレー アンテナ	109
アナログ	2
アナログ通信	2
誤り訂正符号	95, 147
誤り訂正符号化	147
アレーアンテナ	108
アンテナパターン	117
<b>【い】</b>	
位相シフトキーイング	33
因果律	50
インパルス応答	47
<b>【う】</b>	
ウィーナー解	115
<b>【え】</b>	
エントロピー関数	135
<b>【か】</b>	
解析的信号	20
拡散	70
拡散利得	71
ガードインターバル	93
<b>【き】</b>	
擬似ランダム系列	75
逆 DFT	89
逆 FFT	90
逆拡散	71
距離	149

<b>【く】</b>	
空間ダイバーシティ	100
空間分割多元接続方式	109
グレイ符号化	42
<b>【こ】</b>	
拘束長	151
高速フーリエ変換	90
硬判定	155
コーシー・シュワルツの 不等式	27
コマンドライン	8
固有値分解	106
<b>【さ】</b>	
最大比合成	30, 101
サブキャリア	87
散布度	140
サンプリング	3
サンプリング定理	158
<b>【し】</b>	
事後エントロピー	138
事後確率	136
事後情報量	137
自己相関	26
自己相関関数	73
シャノン限界	146
集合平均	26
自由度	
アレーアンテナの—	120
周波数アナライザ	92
周波数シフトキーイング	33
周波数シンセサイザ	92

周波数選択性フェージング	61
周波数フラットフェー ジング	57
周波数ホッピング方式	68
状態	151
情報エントロピー	132, 135
情報源符号化	5
情報量	133
信号対雑音電力比	26
振幅シフトキーイング	33
シンボル	34
<b>【す】</b>	
スクランプリング	95, 156
ステアリングベクトル	111
ステップサイズ	120
スーパーヘテロダイン方式	24
スペクトル拡散	70
スペクトル拡散方式	67
スペクトル逆拡散	71
<b>【せ】</b>	
整合フィルタ	26, 28, 78
積和演算	25
線形性	49
選択ダイバーシティ	101
<b>【そ】</b>	
相関	26
相関器	78
相関行列	29, 116
相互情報量	139
相互相関	26

<b>【た】</b>	ダイバーシティ 100	ダイバーシティゲイン 105	畳込み 25	畳込み符号 150	トレリス線図 151	<b>【ほ】</b>	忘却係数 121
<b>【ち】</b>	チップ 69	チャンネル応答 81	チャンネル応答行列 127	チャンネル応答ベクトル 104	チャンネル推定 81, 105	<b>【ま】</b>	マルチパス 56
	中間周波数帯 24	直接拡散方式 68	直並列変換 41, 86	直交周波数分割多重方式 68, 85	直交成分 21	<b>【む】</b>	無線周波数帯 22
<b>【つ】</b>	通信路符号化 5	通信路容量 140, 145	<b>【て】</b>	低域通過フィルタ 23, 46	デジタル 2	<b>【め】</b>	メトリック 154
	デジタル・アナログ変換器 158	デジタル通信 2	<b>【と】</b>	等価低域系 21	等利得合成 101	<b>【も】</b>	戻り値 14
	特異値分解 128	トランスバーサルフィルタ 24	トレースバック 155	付加的ガウス雑音 34	付加的白色ガウス雑音 34	<b>【よ】</b>	4相 PSK 41
	複素搬送波 21	符号化率 151	符号間干渉 46	符号間距離 149	<b>【ふ】</b>	<b>【り】</b>	離散の情報源 141
	平均情報量 134	平面波 110	ベースバンド 22	AWGN 35	<b>【は】</b>	離散フーリエ変換 89	理想フィルタ 48, 159
	二乗誤差最小化基準 116	2相 PSK 33	<b>【ひ】</b>	引数 14	ビット復号器 153	量子化 4	量子化雑音 4
	二乗誤差最小化基準 116	2相 PSK 33	<b>【ほ】</b>	ビット 34	ビット誤り 35	<b>【れ】</b>	レイリー分布 58
	搬送波 22	搬送波電力対雑音電力比 37	<b>【ふ】</b>	ビット誤り率 35	標本化 3	連続の情報源 141	<b>【ろ】</b>
	搬送波電力対雑音電力比 37	<b>【ひ】</b>	引数 14	標本化関数 160	<b>【ふ】</b>	ロールオフフィルタ 50	<b>【わ】</b>
	引数 14	ビット復号器 153	ビット 34	付加的ガウス雑音 34	付加的白色ガウス雑音 34	ワークスペース 13	<b>【わ】</b>
	ビット誤り 35	ビット誤り率 35	標本化 3	標本化関数 160	<b>【ふ】</b>	<b>【A】</b>	A/D変換器 3
	標本化関数 160	<b>【ふ】</b>	付加的ガウス雑音 34	付加的白色ガウス雑音 34	複素搬送波 21	<b>【B】</b>	ASK 33
	付加的ガウス雑音 34	付加的白色ガウス雑音 34	複素搬送波 21	符号化率 151	符号間干渉 46	<b>【C】</b>	AWGN 35
	符号化率 151	符号間干渉 46	符号間距離 149	平均情報量 134	平面波 110	AWGN 35	BER 35
	符号間距離 149	ベースバンド 22	AWGN 35	BPSK 33	CMA 基準 121		
	AWGN 35	BPSK 33	CMA 基準 121				



CMA 法	121	IF	24	PSK	33
CN 比	37	IFFT	90		
		ISI	46	<b>[Q]</b>	
<b>[D]</b>				QPSK	41
DFT	89	<b>[L]</b>		<b>[R]</b>	
DS/SS	68	LMS 法	120		
		LPF	23, 46	RAKE 合成	81
<b>[E]</b>				RAKE 受信	67
$E_b/N_0$	37	<b>[M]</b>		RF	22
EVD	106	MIMO	126	RLS 法	121
		MMSE	116		
<b>[F]</b>		MMSE 基準	116	<b>[S]</b>	
FFT	90	MRC	30	Sinc 関数	49
FSK	33	M 系列	75	SN 比	26, 37
				S/P 変換	41, 86
<b>[G]</b>		<b>[O]</b>		SS	67
GI	93	OFDM	68, 85	SVD	128
<b>[I]</b>		<b>[P]</b>			
IDFT	89	PN 系列	75		

— 著者略歴 —

- 2000年 名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了（電子情報学専攻）  
博士（工学）  
2003年 東京農工大学助教授  
2007年 東京農工大学大学院准教授  
2011年 IMI デザイン・アンド・コンサルティング代表  
2013年 愛知県立大学准教授  
現在に至る

## MATLAB によるデジタル無線通信技術

Digital Wireless Communication Technologies with MATLAB

© Yukihiro Kamiya 2008

2008年12月17日 初版第1刷発行

2020年3月5日 初版第6刷発行

検印省略

著者 神谷幸宏  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 壮光舎印刷株式会社  
製本所 株式会社 グリーン

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 <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-00800-5 C3055 Printed in Japan

(阿部)



**JCCOPY** <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつと事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

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います。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いません。落丁・乱丁はお取替えいたします。