

# まえがき

近年、システムバイオロジーとして、生命（おもな対象は細胞）をシステムとしてとらえるアプローチが注目を集めている。その理由としては、コンピュータ技術が発展したこと、膨大な量の生命情報が蓄積されていること、遺伝子やタンパク質などの構成要素の研究だけでは生命現象の全体像を解明できそうもないこと、などがあげられる。

システムバイオロジーの隆盛よりずっと以前から、よりマクロなレベルの現象に伝達関数やシステム同定などの概念を適用し、生物（生体）をシステムとしてとらえるアプローチがとられている。本書は、種々の工学的手法を生体の解析に適用する方法についての入門書である。工学系学部の学生で力学、線形代数、電磁気学、電気回路、制御工学などの科目をすでに履修している読者をおもな対象としている。しかし、発展的な内容も含むことで、大学院生、企業の技術者・研究者の参考にもなるように配慮した。

本書は、基礎的な概念から応用例の理解、さらにシミュレーション法の修得を目指して、以下の構成となっている。まず、1章でシステムやモデルといった重要な概念を導入し、生体信号処理（2章）、生体のシステム解析法（3章）の基礎について説明している。4章では、システムとしての生体について、数多くの具体例をあげている。最後に5章で、生体モデルとシミュレーションについて述べている。

各章では多くの数式が用いられており、難解であると思う読者がいるかもしれないので、できるだけいねいに、数式の導出や物理的な意味を説明するように心掛けた。生体システムの解析やシミュレーションには数式は欠かせないのであると、何度も読んで数式の意味するところを少しでも理解してほしい。

1～3章：福岡，4章：内山，5章：野村の分担で執筆したが、著者全員で全体を読んで、内容を入れ替えたり、章間の関連性の記述などを追加した。

最後に、本書の原稿をていねいに読んでいただき、有益なコメントを頂戴した福島大学教授 増田正先生に感謝いたします。

2015年2月

著者

# 目 次

## 1. 序論：システムとモデル

1.1 システムとモデル	1
1.1.1 システムとは	1
1.1.2 モデルとは	4
1.1.3 モデルと問題	5
1.2 数学的準備	6
1.2.1 微分方程式	6
1.2.2 線形性	7
1.2.3 三角関数	8
1.3 動的システム	11
1.3.1 モデリング	11
1.3.2 物理量と微分方程式	12
1.3.3 1次遅れ系と2次遅れ系	14
1.3.4 連続時間系と離散時間系	17
問 題	18

## 2. 生体信号処理

2.1 システムと信号	19
2.1.1 アナログ信号とデジタル信号	20
2.1.2 生体信号	22

2.2 信号の抽出	25
2.2.1 同期加算と移動平均	26
2.2.2 フィルタ	29
2.2.3 振幅情報の抽出：整流平滑化筋電図と RMS	32
2.3 直交変換とスペクトル解析への応用	33
2.3.1 フーリエ級数とフーリエ変換	33
2.3.2 直交変換とは	39
2.3.3 FFT	40
2.3.4 短時間 FFT	44
2.3.5 ウェーブレット変換	45
2.4 相関係数	48
2.4.1 ピアソン相関係数	48
2.4.2 順位相関係数	49
2.5 生体リズムの解析	50
2.5.1 生体リズム	50
2.5.2 ゆらぎの解析：RR 間隔の解析を例として	50
問題	53

### 3. 生体のシステム解析

3.1 平衡点の解析	54
3.1.1 平衡点	54
3.1.2 相平面と軌道	55
3.1.3 平衡点の種類	56
3.1.4 計算による平衡点近傍の挙動の解析	59
3.2 時間領域の解析	63
3.2.1 インパルス応答	64

3.2.2	ステップ応答	65
3.2.3	相関関数	66
3.3	周波数領域の解析：直交変換	67
3.4	伝達関数	68
3.4.1	ラプラス変換	68
3.4.2	伝達関数からシステムの応答を計算する方法	69
3.4.3	伝達関数から周波数特性を求める方法	71
3.4.4	白色雑音入力による周波数領域でのシステム同定	72
3.4.5	ブロック線図	74
3.5	状態方程式と伝達関数	75
3.5.1	状態方程式の例	75
3.5.2	状態方程式と伝達関数の変換	77
3.6	非線形解析	78
3.6.1	van der Pol 方程式	79
3.6.2	ヌルクライン法による定性解析	81
問	題	82

## 4. システムとしての生体

4.1	コンパートメントモデル	83
4.1.1	コンパートメントが一つの場合	84
4.1.2	コンパートメントが二つの場合	87
4.2	神 経	91
4.2.1	マッカローピッツのモデル	91
4.2.2	膜 電 位	94
4.2.3	Hodgkin-Huxley モデル	97
4.2.4	Bonhoeffer-van del Pol モデル	101

4.2.5	軸 索	103
4.2.6	有随神経と無随神経	107
4.3	視 覚	108
4.3.1	瞳孔の調節機構	109
4.3.2	網 膜	114
4.4	聴 覚	119
4.4.1	耳 の 構 造	120
4.4.2	基底膜の振動	123
4.5	平 衡 感 覚	127
4.5.1	前 庭	128
4.5.2	半 規 管	129
4.6	筋 骨 格 系	132
4.6.1	筋の構造と機能	132
4.6.2	Hill 型の筋モデル	133
4.6.3	筋 活 動 電 位	143
4.6.4	運 動 単 位	150
4.6.5	筋 紡 錘	152
4.6.6	ゴルジ腱器官	156
4.6.7	筋 の 形 状	157
4.6.8	筋骨格系の剛体リンクモデル	158
4.6.9	躍度最小モデル	163
4.6.10	トルク変化最小モデル	165
4.7	循 環 系	166
4.7.1	心 臓	166
4.7.2	血 管 系	172
4.8	代 謝	176
4.8.1	生 化 学 反 応	177
4.8.2	血糖調節：Tolić のモデル	180

4.8.3	解糖系の振動	182
4.8.4	タンパク質の合成と mRNA による調節	186
問	題	189

## 5. 微分方程式の数値積分

5.1	はじめに	191
5.2	オイラー法	194
5.2.1	陽的オイラー法	194
5.2.2	陰的オイラー法	195
5.3	常微分方程式の相空間解析	204
5.3.1	相空間	205
5.3.2	ベクトル場の可視化	206
5.3.3	平衡点とその安定性	207
5.3.4	フローと解軌道	211
5.4	ルンゲ-クッタ法	212
5.4.1	2次のルンゲ-クッタ法	213
5.4.2	4次のルンゲ-クッタ法	215
5.5	偏微分方程式の数値シミュレーション	217
5.5.1	活動電位の伝搬を記述する反応拡散方程式	219
5.5.2	偏微分方程式の初期値問題と境界値問題	221
5.5.3	有限差分法による偏微分方程式の数値シミュレーション	223
問	題	230

引用・参考文献	231
---------	-----

問題解答	235
------	-----

索引	239
----	-----

# 1



## 序論：システムとモデル



本章では、生体システムおよびその解析方法を深く理解するために知っておくべき概念や用語について説明する。なお、説明を簡単にし重要な点を強調するために単純な例を用いたが、必要に応じて生体システムについても述べる。

### 1.1 システムとモデル

#### 1.1.1 システムとは

まず、本書で最も大切な概念であるシステムについて説明する。日常生活でもよく使われる言葉であるが、定義を意識しないで使うことが多いのではないだろうか。科学技術分野でのシステムは

「相互に影響を及ぼし合う要素から構成される仕組みやまとまりの全体」と定義できる<sup>1),2)†</sup>。

電気回路を例として考える。図 1.1 (a) は、電池、導線、スイッチ、LED (light emitting diode, 発光ダイオード) の部品を表している。これらの部品単独では、何の機能も果たさない。(b) のように接続することによって、照明装置 (システム) として利用できる。すなわち、(a) の部品は、システムの構成要素となる。どの構成要素が欠けても (b) のシステムとして機能しない。また、構成要素の間の関係 (すなわち、配線) が図と大きく異なっている場合もシステムとして機能しない。例えば、回路が閉じていないシステムでは LED は点灯せず、照明装置として使えない。このように、システムを考えるとときには、構成要素

---

† 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献の番号を表す。

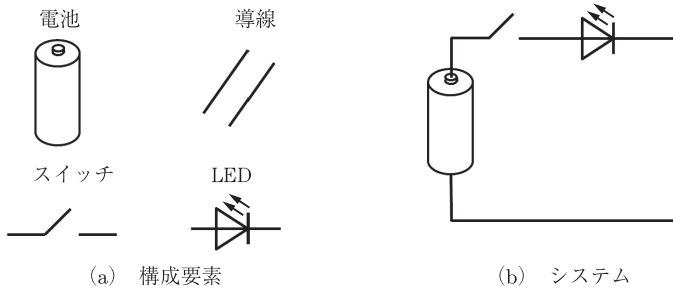


図 1.1 構成要素とシステムの例

が何であるか、および構成要素間にどのような関係があるかが重要である。

図 1.1 (b) の回路で、電池のかわりに電圧が可変である直流電源（構成要素）を使うものとする。また、スイッチオフの状態は、電源電圧が 0 であることと等価なので、スイッチを省略する（図 1.2 (a)）。このシステムでは、電源電圧を調節すると、LED の明るさ（輝度）を変えることができる。すなわち、電源電圧によって、システムの状態（LED を流れる電流の大きさ）を変えることができる。このとき、電源電圧をシステムの入力という。システムの状態が変化した結果として LED の輝度にも変化が起きる。したがって、LED の輝度をシステムの入出力と考えることができる。

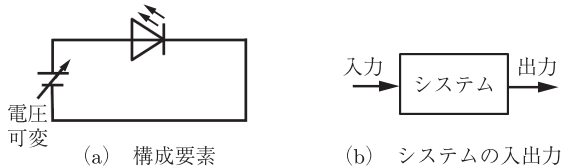


図 1.2 構成要素とシステムの入出力

入力は外部から与えられてシステムの状態に変化を起こさせるものであり、出力は状態の変化を外部で観測したものである（図 1.2 (b)）。入力と出力をまとめて入出力という。入出力が何であるかは、システムを考えるうえで重要な観点である。図 1.2 (b) のシステムは 1 入力 1 出力であるが、多入力 1 出力のシステムや多入力多出力のシステムもある。

入力がシステムで変換されて出力が得られると考えることもできる。入出力



が数学的に表現できれば、システムによる変換も数学的に記述できる。入力と出力の関係を入出力特性という。一般に、入力を  $x$ 、出力を  $y$  とすると、システムによる変換は  $y = f(x)$  のように関数の形で書ける。このとき、 $f()$  は入出力特性を表している。

4章で詳しく述べるように、生体内にも多数のシステムが存在する。例えば、循環系(図 1.3)もシステムとして考えることができる。

入 力：血圧

出 力：心拍出量

構成要素：心臓、肺、血管、血液など

構成要素間の関係：心臓、肺、全身の血管がつながっていて、その中を血液が循環する。

機 能：心臓は血管を通じて血液を肺と全身に送り出す。肺では二酸化炭素と酸素のガス交換が行われ、酸素を含んだ血液が心臓に戻る。心臓に戻った血液は、全身の組織に送られ、肺とは逆のガス交換を行う。二酸化炭素を含んだ血液は心臓に戻る。この一連の動作がスムーズに行われるように、血圧が調整される。その結果として、心拍出量が増える。

図 1.3 はかなり単純化した図であり、実際の循環系はもっと複雑である。そこで図 1.4 のように、システムの中をさらにいくつかのサブシステムに分けて考えることもある。循環器システムについて、サブシステムに分けて考えた例が後述する図 4.60 である。

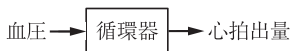


図 1.3 循環器システム

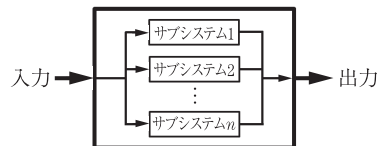


図 1.4 サブシステム

図 1.5 のようにループ構造をもったシステムもある。このようなシステムをフィードバックシステムまたはフィードバック系という<sup>3)</sup>。このシステムでは出力が入力側に戻されて、入力との差が計算され、処理に使われる。エアコン

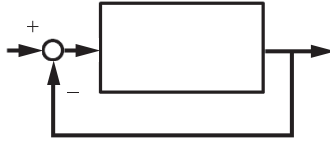


図 1.5 フィードバックシステム

ディショナのサーモスタットはフィードバックシステムの例である。設定室温（望ましい温度を入力として与えたもの）と現在の室温（出力）の差を計算して、温度調節（加温もしくは冷却）する。

生体にも多数のフィードバックシステムが存在する。例えば、ヒトの直立姿勢は身体の傾きに関する情報を視覚、体性感覚、前庭の三つの感覚系で検出し、中枢神経系での処理を経て、下腿の筋力を調整することによって維持されている（図 1.6）。図からわかるように、身体の傾きを検出する感覚系が視覚、体性感覚、前庭の三つのサブシステムから構成される。身体が後に傾いたということが検出されると、身体を前方に起こすような力を発生して、元の位置（ほぼ垂直な位置）に戻す。直立姿勢の制御では、望ましい状態は直立状態であるので、現在の傾きと鉛直方向の差を検出して、差が0になるように力を発生する。

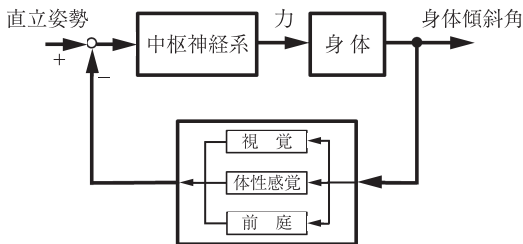


図 1.6 姿勢制御系

実際の生体には、心臓の洞結節のように外部からの入力なしで、ほぼ一定のリズムで活動する部位がある。洞結節は、心臓の拍動のリズムを決定する役割を担っている。このようなシステムはリズムジェネレータと呼ばれ、明白な入力がなくても動作する特殊なシステムである。

### 1.1.2 モデルとは

ファッションモデルやプラモデルなど、モデルも日常生活でよく使われる言

葉である。科学技術分野におけるモデルとは

「現象あるいはシステムの本質的な性質を単純化して一般性をもたせたもの」と考えることができる。したがって、モデルを考えるとときには、何が本質的かが非常に重要である。

目的によって本質的な性質は異なるので、用いるモデルも変わってくる。例えば、荷物をもち上げるときの肘関節の角度と周囲の筋が発生する力の関係を調べる場合、大切なのは筋全体が発生する張力である。一方、筋張力の発生メカニズムを調べる場合、4.6.4項で述べるように筋のミクロな構造を考える必要がある。

生体に関する研究では、ヒトの疾患を模擬した動物モデルやDNAの二重らせんモデルなど、さまざまな種類のモデルが用いられている。本書は、その中で数学的に表現できるモデル、すなわち数理モデルを対象とし、この数理モデルを用いて、生体システムの性質を解析する方法や、シミュレーションによって生体モデルの挙動を予測する方法について述べる。

### 1.1.3 モデルと問題

システムを考える場合、システム自体に加えてシステムへの入力とシステムからの出力の三つが重要である。これらのうち、二つがわかれば残りの一つを知ることができる。未知のものが何であるかによって、問題を表1.1に示すように三つに分類することができる。

表 1.1 モデルの入出力と問題

入力	システム	出力	問題
既知	既知	未知	予測
既知	未知	既知	システム同定
未知	既知	既知	デコンボリユーション

入力とシステムが既知の場合、モデルを用いて任意の入力に対する出力を予測する問題になる。入力と出力が既知の場合には、入出力関係からシステムを同定する問題になる。システムと出力が既知の場合には、逆問題になる。シス

テムの特性が畳み込まれている出力信号から入力信号をデコンボリューションによって求める問題である。

## 1.2 数学的準備

生体システムの解析やシミュレーションには、微分方程式<sup>4)</sup>などの数学的知識が必要になる。ここでは、必要最小限の数学的事項について説明する。

### 1.2.1 微分方程式

関数を変数  $x$  の関数であれば  $y(x)$  のように表され、その微分は  $dy(x)/dx$  と書かれる。これを全微分という。微分の記号は、 $(x)$  を省略しても誤解が生じない場合には、 $dy/dx$  と書かれることが多いので、以後はこの表記を用いる。 $dy/dx$  は関数  $y(x)$  を  $x$  で一度微分したものであり、1階の微分といわれる。2階の微分は  $d^2y/dx^2$  と表される。同様に  $n$  階の微分は  $d^n y/dx^n$  と書かれる。

一方、2変数  $x, t$  の関数は  $z(x, t)$  のように表される。これを  $x$  で微分する場合、 $t$  は定数と見なし、 $x$  のみを変数と考えて微分する。これを偏微分といい、 $\partial z(x, t)/\partial x$  と書く。ある関数が場所と時間の関数であるときには、偏微分を用いることになる。

関数の微分を含んだ方程式を微分方程式という。次式のように全微分のみを含む方程式を常微分方程式という。式 (1.1) は1階の微分のみを含むので、1階の微分方程式または1次の微分方程式と呼ばれる。2階の微分を含む方程式

#### コーヒーブレイク

##### 微分と積分の直感的なイメージ (1)

微分は、関数のある点での傾きを求めることに相当する。一方、積分は、関数と横軸で囲まれた部分の面積を求めることに相当する。

# 索引

## 【あ】

アイソクライン	82
アイソクライン法	79
アクチュエータ	132
アダマール変換	39
アナログ信号	20
アナロジー	12
安定平衡点	209
鞍点	61

## 【い】

閾値	92
位相	9
位相差	30
位相特性	71
1次遅れ系	14
移動平均	27
陰解放	225
陰的オイラー法	194
インパルス応答	64

## 【う】

ウェーブレット変換	45
ウォルシュ関数	39
運動単位	151

## 【え】

エイリアシング	20
液性調節系	51

## 【お】

オイラー前進差分法	223
オイラーの公式	10, 35

オイラーの後退差分	225
オイラー法	194
折返し雑音	20

## 【か】

解糖系	182
——の振動	182
拡散方程式	218
学習 (ニューラルネット ワークの)	93
角周波数	34
活動電位	92, 94, 198
過分極	92

## 【き】

基底	34
軌道	55, 212
逆フーリエ変換	39
逆ラプラス変換	69
筋	132
筋活動電位	143
筋骨格系	132
筋電図	23
筋紡錘	152

## 【け】

ゲイン	29
ケーブル方程式	105, 218, 219

## 【こ】

交感神経	51, 110, 166
構成要素	1
剛体リンクモデル	158

骨格筋	132
固有値	61, 88, 210
固有ベクトル	88
ゴルジ臓器	156
コンパートメント	84
コンパートメントモデル	84

## 【さ】

サーカディアンリズム	50
サイズの原理	151
サブシステム	3
三角関数	8
散瞳 (瞳孔の)	110
三半規管	129
サンプリング間隔	20
サンプリング周波数	20
サンプリング定理	20

## 【し】

視覚	108
時間刻み	194
軸索	91, 94, 103
シグモイド関数	93
自己相関関数	66
指数関数	10
システム	1, 83
システム同定	65
時定数	15
遮断周波数	31
周期	9, 34
周期関数	33
周期性	66
周波数	8, 34
周波数応答	72

周波数スペクトル	38	生体リズム	50	瞳 孔	109
周波数伝達関数	72	静的システム	11	等尺性収縮	134
周波数特性	72	整流平滑化筋電図	32	等張性収縮	138
周波数分解能 (FFT の)	44	積 分	6	動的システム	11
縮瞳 (瞳孔の)	109	積分筋電図	32	動的線形システム	192
出 力	2	漸化式	224	動的非線形システム	192
出力信号	19	漸近安定	209	倒立振り子	127
受容野	115	線形近似	59	独立変数	191
順位相関係数	49	線形システム	7	トルク変化最小モデル	165
循環系	166	線形性	7		
状 態	75, 191	線形力学系	192	<b>【な】</b>	
状態空間	77	前 庭	128	内分泌系	166
状態空間法	76				
状態点	191	<b>【そ】</b>		<b>【に】</b>	
状態微分方程式	139	相 関	35	2 次遅れ系	15
状態ベクトル	77, 191	相関関数	66	入出力	2
状態変数	76, 139	相関係数	48	入出力特性	3, 68
初期状態	221	双極子モデル	145	ニュートン-ラプソン法	201
初期値問題	221	相空間	205	ニューラルネットワーク	91
自律系	191	相互相関関数	66	入 力	2
自律神経系	51, 166	相平面	55	入力信号	19
神 経	91				
神経細胞	91	<b>【た】</b>		<b>【ぬ】</b>	
信 号	19	代 謝	176	ヌルクライン	81, 102, 208
信号処理	19	多層パーセプトロン	93	ヌルクライン法	78, 82
心電図	22, 169	脱分極	92		
心拍変動	51	短時間 FFT	44	<b>【ね】</b>	
				ネガティブフィードバック	
<b>【す】</b>		<b>【ち】</b>			74
数学モデル	83	聴 覚	119	ネガティブフィードバック系	
数値計算の安定性	198	直立姿勢	127		155
数値シミュレーション	193	直交基底	37		
数値シミュレーション		直交変換	39, 67	<b>【の】</b>	
(偏微分方程式の)	219			ノイズ	26
数値積分	193	<b>【て】</b>		能動電極	145
数理モデル	5	テイラー展開	59	脳 波	24
ステップ応答	15, 65	デジタル信号	20	ノンパラメトリック	73
スペクトログラム	45	電気興奮	198		
		電信方程式	126	<b>【は】</b>	
<b>【せ】</b>		伝達関数	68	白色雑音	72
生化学反応	177			バタフライ演算	43
正帰還	74	<b>【と】</b>		バックプロパゲーション	93
正弦関数	8	同期加算	26	波動方程式	218

バネ-マス-ダンパモデル 135  
 パワースペクトル 38  
 反応拡散方程式 220

**【ひ】**

ピアソン相関係数 48  
 非周期関数 37  
 非自律系 192  
 非線形 91  
 非線形システム 7, 59  
 非線形振動 79  
 非線形振動子 170  
 非線形性 8  
 非線形力学系 192  
 微分 6  
 微分特性 129  
 微分方程式 6, 11, 191  
 微分方程式モデル 194

**【ふ】**

不安定平衡点 209  
 フィードバック 74  
 フィードバックシステム 3  
 フーリエ級数 34  
 フーリエ級数展開 34  
 フーリエ係数 34  
 フーリエ変換 38  
 負帰還 74  
 副交感神経 51, 110, 166  
 複素フーリエ級数 36  
 部分分数分解 70  
 フロー 212  
 ブロック線図 74

**【へ】**

平衡感覚 127  
 平衡点 54, 207  
 平衡電位 95  
 閉ループ 74  
 閉ループ伝達関数 74  
 ベクトル場 191  
 —の可視化 206  
 変分 164

**【ほ】**

ボード線図 71  
 ポジティブフィードバック 74

**【ま】**

膜電位 91, 94  
 マッカローピッツのモデル 92

**【み】**

ミカエリス-メンテンの式 177

**【む】**

無髄神経 107

**【も】**

網膜 114  
 モデル 4

**【や】**

躍度最小モデル 163  
 薬物の動態 84  
 ヤコビ行列 60, 201, 209

**【ゆ】**

有髄神経 107, 108  
 誘発脳波 25  
 ゆらぎ 50

**【よ】**

陽解法 223  
 陽のオイラー法 194  
 余弦関数 8

**【ら】**

ラグランジュの運動方程式 159  
 ラプラス変換 68

**【り】**

離散時間システム 17  
 利得 29  
 利得特性 71  
 リミットサイクル 80, 171  
 量子化 22  
 量子化誤差 22

**【る】**

ルンゲ-クッタ法 212

**【れ】**

連続時間システム 17

**【A】**

A-D 変換 20  
 A-D 変換器 20

**【B】**

Bonhoeffer-van der Pol 方程式 198  
 Bonhoeffer-van del Pol モデル 101

**【D】**

DNA 186

**【E】**

ECG 169  
 EMG 143

**【F】**

1/f ゆらぎ 53  
 FFT 40  
 FitzHugh-Nagumo 方程式 198

**【G】**

Goldman-Hodgkin-Katz (GHK) の式 96

<b>【H】</b>		<b>【N】</b>		<b>【T】</b>	
Hill 型の筋モデル	133	Nernst の式	95	Tolić のモデル	180
Hodgkin-Huxley 方程式	218	<b>【R】</b>		<b>【V】</b>	
Hodgkin-Huxley モデル	97	RMS	33	van der Pol モデル	171
<b>【M】</b>		RR 間隔	51	<b>【W】</b>	
M 系列	73			windkessel モデル	173
mRNA	186				



— 著者略歴 —

福岡 豊 (ふくおか ゆたか)

- 1987年 慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業  
1989年 慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)  
1992年 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了(電気工学専攻)博士(工学)  
1992年 東京医科歯科大学助手  
1997年 東京医科歯科大学助教授  
2012年 工学院大学准教授  
2014年 工学院大学教授  
現在に至る

内山 孝憲 (うちやま たかのり)

- 1987年 慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業  
1989年 慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了(計測工学専攻)  
1992年 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了(生体医学専攻), 博士(工学)  
1992年 神戸大学助手  
1997年 慶應義塾大学助手  
1998年 慶應義塾大学専任講師  
2003年 慶應義塾大学助教授  
2011年 慶應義塾大学教授  
現在に至る

野村 泰伸 (のむら たいしん)

- 1991年 大阪大学理学部物理学科卒業  
1993年 大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了(物理系専攻)  
1993年 日本学術振興会特別研究員  
1995年 大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了(物理系専攻)博士(工学)  
1996年 大阪大学助手  
1998年 大阪大学講師  
2002年 大阪大学助教授  
2004年 大阪大学教授  
現在に至る

# 生体システム工学の基礎

Fundamentals of Biosystems Modeling and Simulation

© 公益社団法人 計測自動制御学会 2015

2015年4月27日 初版第1刷発行

検印省略

編者 公益社団法人  
計測自動制御学会  
東京都文京区本郷 1-35-28-303

著者 福岡豊  
内山孝憲  
野村泰伸

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 978-4-339-03371-7 (新宅) (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