

大学講義テキスト 古 典 制 御

森 泰親 著

コ ー ナ 社

ま え が き

制御工学は、身近な家電製品から、自動車、電車、化学プラント、人工衛星に至るまで、幅広い分野で活躍する「横糸」学問である。したがって、大学工学部に属するほとんどすべての学科において制御工学の講義が学部2年生の専門基礎科目として配当されているのが現状である。

制御工学が対象とするものを一言でいえば、動く人工物すべてである。そこで、それらのダイナミクスを数式で表現して一般化し、数学を道具に特性解析と制御系設計を行う。大学の講義を受けたとき、内容が進むにつれて専門用語や概念がつきつぎに出てくるため、定義や内容を覚えるのに精一杯になり、「木を見て森を見ず」のごとく、全体像を見失ってしまいがちである。なんとか単位を取得できたとしても、はっきりと理解できた部分とぼんやりした部分が混ざり、全体としてはまったく自信がないという履修者の声をよく聞く。

講義を担当している者は、自身が研究室に配属された学部4年生から数えると制御工学の専門家として20年、30年のキャリアを有している。あり余る知識を持っていることで、必要以上に補足説明が長くなる場合、脱線して余計なことを喋ってしまう場合などがあり、聴講している学生にとってよかれと思つてのことが、逆に迷惑となってしまうのが事実であろう。すべての講義担当者がそうであるとはいわないが、少なくとも私はこれに相当する。

この反省から、大学講義の教科書を執筆したいという願望が生まれた。学部2年生に制御工学の基礎を教授しようとするとき、半年間で学ぶにふさわしい量とレベルであるのはもちろん、きっちりと体系化されていなくてはならない。すなわち、なにを教え、なにを割愛するか。また、選択した内容については、それぞれをどの程度深く教え、かつ、それらの関連性をどう伝えると全体像が見えるかに工夫すべきである。

本書「大学講義テキスト 古典制御」は、大学の講義を意識して14章からなっている。制御工学の基礎を学ぶのに必要最小限の内容に厳選したうえで、概念や定理の解説をわかりやすく丁寧に行っている。また、数値例や図を多用して、定理や法則の使い方の習得を容易に行っているなど、制御工学の基礎が効率的に身に付くようにさまざまな工夫を凝らしている。

厳選された内容とそれらを理解させるために編み出した工夫は、著者が助教授となって制御工学の授業を担当して以来、30年間もの長きに渡って継続して講義してきた成果であるといえよう。著者は毎回の講義において、最初の10分間を使って前回の復習を行うのがつねであった。1週間ぶりに本講義を受ける学生に、前回の講義の内容を思い出させたあと、今日講義する内容とその位置づけを説明してから本題に入るのである。この講義のやり方を本書に反映することをねらって、各章の冒頭と末尾に少しずつページを割いている。

本書の特長をもう一つ挙げるとすれば、それは構成である。大学の講義回数に合わせて14章からなっていることは、先に紹介した。また、各章は意識して細かく分割しており、節の数は2~4である。この節がテーマに当たる。各テーマは「基本部分」と「さらに詳しく」の2部に分かれている。講義においては、「基本部分」を押さえたうえで、学生の反応と残り時間を見ながら、必要に応じて「さらに詳しく」を教授して頂きたい。あるいは、学生の自宅学習の材料として提供するのでもよからう。この場合は、ミニテストを実施して自宅で勉強したか否かを確認することをお勧めする。上記のように、各節に設けた「さらに詳しく」の取扱いは、講義担当者の裁量にお任せしたい。

大学講義の教科書として十分に満足いただけるものを執筆できたと確信している。さらには、講義の副読本としてあるいは大学院入試の際の復習本としての利用も意識して執筆した。制御工学の基礎が丁寧にまとめられている本書が、制御工学を学ぼうとしている人たちに勉学の意欲と勇気を少しでも与えることができれば、著者にとってこれほど幸せなことはない。

2020年3月

森 泰親

目 次

1 章 システムと制御

はじめに 1

| | |
|---------------------------|---|
| 1.1 制 御 と は | 1 |
| 1.2 フィードバック制御とフィードフォワード制御 | 3 |
| 1.3 システムの記述 | 6 |
| まとめ 10, 章末問題 11 | |

2 章 ラプラス変換

はじめに 12

| | |
|---------------------|----|
| 2.1 代表的な時間関数のラプラス変換 | 12 |
| 2.2 ラプラス変換に関する性質と定理 | 15 |
| 2.3 ヘビサイドの展開定理 | 17 |
| 2.4 微分方程式を解く | 19 |
| まとめ 23, 章末問題 23 | |

3 章 伝 達 関 数

はじめに 24

| | |
|-----------------------|----|
| 3.1 信 号 の 伝 達 | 24 |
| 3.2 時間応答から伝達関数を計算する | 27 |
| 3.3 伝達関数から時間応答を計算する | 28 |
| 3.4 入力信号から出力信号までの伝達関数 | 29 |
| まとめ 32, 章末問題 32 | |

4章 ブロック線図

| | |
|-------------------------|-------------|
| はじめに | 34 |
| 4.1 ブロック線図の導入 | 34 |
| 4.2 等価変換 | 35 |
| 4.3 入力信号から出力信号までのブロック線図 | 37 |
| まとめ | 40, 章末問題 41 |

5章 周波数応答

| | |
|-------------|-------------|
| はじめに | 42 |
| 5.1 周波数応答とは | 42 |
| 5.2 ベクトル軌跡 | 45 |
| まとめ | 49, 章末問題 50 |

6章 ボード線図

| | |
|--------------------------|-------------|
| はじめに | 51 |
| 6.1 ボード線図とは | 51 |
| 6.2 基本要素のボード線図 | 53 |
| 6.3 二次遅れ要素のボード線図 | 57 |
| 6.4 ボード線図を折れ線近似を使って手で描こう | 59 |
| まとめ | 63, 章末問題 63 |

7章 過渡特性と安定性

| | |
|-----------------------|-------------|
| はじめに | 64 |
| 7.1 一次遅れ要素 | 64 |
| 7.2 二次遅れ要素 | 67 |
| 7.3 複素平面における極の位置と過渡応答 | 71 |
| まとめ | 74, 章末問題 75 |

8章 ラウス・フルビッツの安定判別法

はじめに 76

- 8.1 ラウス・フルビッツの安定判別法 76
- 8.2 特殊な場合への対応 82
- 8.3 補助方程式 85
- 8.4 設計への応用 87

まとめ 91, 章末問題 91

9章 ナイキストの安定判別法と安定度

はじめに 93

- 9.1 ナイキストの安定判別法 93
- 9.2 ゲイン余裕と位相余裕 95
- 9.3 設計への応用 99

まとめ 101, 章末問題 101

10章 定常特性

はじめに 102

- 10.1 目標値変化に対する定常偏差 102
- 10.2 外乱印加に対する定常偏差 107

まとめ 110, 章末問題 111

11章 制御器の設計

はじめに 112

- 11.1 進み遅れ補償器 112
- 11.2 PID 制御 117
- 11.3 2自由度制御 121

まとめ 124, 章末問題 124

12章 部分的モデルマッチング法

| | |
|--------------|---------------|
| はじめに | 125 |
| 12.1 設計思想 | 125 |
| 12.2 PID 制御 | 128 |
| 12.3 I-PD 制御 | 132 |
| まとめ | 136, 章末問題 136 |

13章 根軌跡法

| | |
|---------------|-----|
| はじめに | 137 |
| 13.1 作図の基本ルール | 137 |
| 13.2 数値例 | 139 |
| まとめ | 143 |

14章 総合演習

| | |
|------------------------------------|-----|
| はじめに | 144 |
| 14.1 設計例①：安定判別法を用いて制御系を安定化する範囲を求める | 144 |
| 14.2 設計例②：フィードバック制御の効果を定量的に評価する | 148 |
| 14.3 設計例③：閉ループ系の固有角周波数，減衰係数を決める | 150 |
| 14.4 設計例④：電気回路でPID制御装置を作る | 151 |
| まとめ | 156 |

| | |
|---------|-----|
| 参考文献 | 158 |
| 章末問題の解答 | 159 |
| 索引 | 188 |

システムと制御

はじめに

制御 (control) 工学とは、「制**し**御**する**」ための学問である。なにもしなければ、それがもつ特性と周りの環境に従って勝手に変化するであろう。しかしながら、力づくで無理やりに押さえ込んでも、対象を希望どおりに制御することはできない。制御するには、その対象の特性を十分に把握しておく必要がある。

1.1 制 御 と は

制御を行うには、まず、対象とするシステムがもつどの物理量を制御したいかを明確にしなくてはならない。これを**制御量** (controlled variable) という。制御量はいろいろな要因で変化する。制御量に影響を与えるもののうちで、制御の目的達成のためにわれわれが利用するものを**操作量** (manipulated variable) と呼び、それ以外を**外乱** (disturbance) という。

例えば、会議室を**制御対象** (controlled object) としよう。ここでの制御量は室温であり、そのためにエアコンが取り付けられている。会議室の室温を変えるのはエアコンだけではない。大きな窓を通して外気から熱の出入りがあり、ドアが開くことで会議室と廊下との間に、空気と熱の出入りがある。また、会議中には大勢の人の白熱した議論による熱気が原因となって室温が上昇する。この場合、エアコンからの熱の出入りが操作量であって、そのほかはすべて外乱である。

エアコンは、温度センサで室温を測り、設定した温度との差を検出して、その偏差の値に応じて熱の放出と吸収を行う。設定温度よりも室温が低ければ暖房を、逆に高ければ冷房を行うことで、室温をつねに設定温度に維持する働きをする。外乱が室温に及ぼす影響力と同等あるいはそれ以上の影響力のあるエアコンでないと制御の目的を達成することはできない。

つぎに実験室において、アーム型ロボットの電動ハンドにフェルトペンを持たせて、平らな紙に直径 30 cm の円を描かせる作業を取り上げる。制御対象はアーム型ロボット、制御量はペン先の位置と速度、そして操作量は各関節に取り付けられた電気モータに与える電流である。環境を整えた実験室なので、外乱による影響を無視できるのが大きな特徴である。

制御目的は、電動ハンドでペンをつかみ、所定の高さを保ったままで描円運動をさせることである。これには、二通りの方策が考えられる。一つ目は、「あらかじめ定められた順序または手続きに従って制御の各段階を逐次進めていく方策」であって、これはパソコンや専用の入力機器を利用して、操作内容をあらかじめプログラムによって表現し、これを逐次実行することにより目的を達成するやり方である。すなわち、あらかじめ教え込んだ動作を状況に応じて再現するにすぎない。

二つ目は、「三次元の目標軌道を与えておき、電動ハンドまたはペン先の三次元位置と目標軌道との差がゼロになるように制御を行う方策である。

基本的には上記の室温制御と同じであるが、目標軌道とペン先との偏差の方向と距離を正確に素早く計測し、その計測値に基づいて複数の電気モータの電流値を決定する必要がある。

制御が行われているシステムは世の中にたくさんある。宇宙ロケットやジャンボジェット機のように巨大なものもあれば、洗たく機、トースタ、電気ポットのように身近な家電製品もある。それらシステムが動作する仕組みや仕掛けもさまざまであり、その複雑さも千差万別である。

1.2 フィードバック制御とフィードフォワード制御

制御系は、その構造から**開ループ制御系**（open loop control system）と**閉ループ制御系**（closed loop control system）に大きく分類することができる。

図 1.1 に示す開ループ制御系は、前節で紹介したアーム型ロボット制御の一つ目の方策であって、制御対象の特性が変化せず、しかも外乱による影響を無視できる場合に用いられる。開ループ制御系では、あらかじめ定められた順序または手続きに従って制御の各段階を逐次進めていく制御方法である**シーケンス制御**（sequential control）が用いられる。

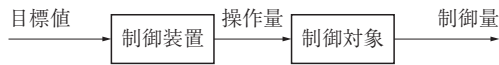


図 1.1 開ループ制御系

これに対して、制御対象の特性が変化したり外乱による影響を無視できない場合には、図 1.2 に示す閉ループ制御系が用いられる。図のように、制御量の現在値を**測定装置**（measuring device）で検出して目標値側にフィードバックすることで両者を比較しながら**制御装置**（controller）を働かす方法であることから、**フィードバック制御系**（feedback control system）とも呼ばれる。これにより、**制御偏差**（control error）をゼロにして制御量を**目標値**（reference value, desired value）に一致させることができる。

図 1.2 の閉ループ制御系は、文字通りループが閉じている。したがって、目

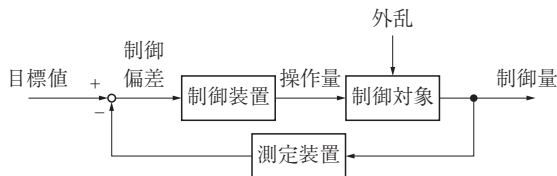


図 1.2 閉ループ制御系

標値と外乱を**外部入力** (external input) と呼ぶ。目標値はわれわれが目的に応じて設定する。前節で紹介した、会議室の室温を制御する場合には、目標値を 25℃などの値に設定する。多くの場合、温度、圧力、液面は一定値に保つ制御が行われる。これを**定値制御** (constant-value control) といい、プロセス制御の分野に多く使われる。これに対して、アクティブカメラを用いて移動物体を画像内にとらえる追跡、溶接ロボットに目標線を与えての軌道追従など、ロボット制御では変化する目標値に制御量を追従させようとする場合がある。これを**追従制御** (tracking control, follow-up control) といい、工作機械、ロボットなどのサーボ機構に使われる。

図 1.2 における外部入力のもう一つが外乱である。外乱の印加による影響が制御量に現れて初めてフィードバックの効果が生きてくるので、フィードバック制御には大きな応答遅れが生じる。しかしながら、もし外乱が完全に未知ではなく、不正確ながらも既知として扱うことのできる外乱であれば、話は違ってくる。

1.1 節で紹介した、会議室の室温を制御する場合、多くの人が入室することで室温が上昇する。室温の上昇を感知したのち、エアコンは冷房を開始するが、それでは遅すぎる。会議が始まる少し前から冷房を開始しておけば、より完璧に定値制御を実施できることに気が付く。それには、会議が何時から始まるという情報をあらかじめ与えれば済む。それが無理なら、入室する人数を数えることで早めの対応が可能となる。図 1.3 に**フィードフォワード制御** (feed-forward control) を示す。

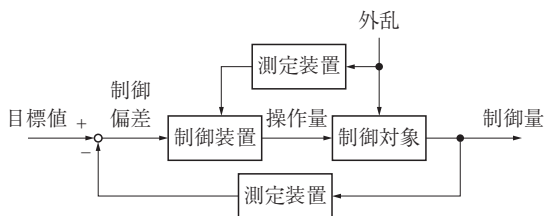


図 1.3 フィードフォワード制御の追加

フィードフォワード制御は、制御量に影響を及ぼす外乱が発生する場合、前もってその影響をできるだけなくすように修正動作を行う制御方式である。フィードフォワード制御だけでは設定温度を保つことができないので、通常はフィードバック制御と併用する。

さらに詳しく

定値制御において設定値を変更する場合、あるいは追従制御において目標値がステップ状に変化する場合、新たに設定された目標値に制御量が速やかに一致することが要求される。図 1.4 は、目標値のステップ変化に対する制御系の応答性を評価するための**特性値** (characteristic value) を表している。

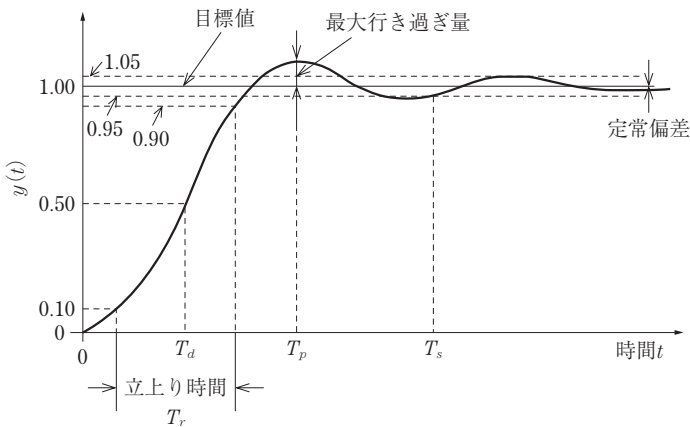


図 1.4 ステップ応答の特性値

図 1.4 では、目標値はゼロから 1.0 に変化している。これは、エアコンによる室温制御でたとえれば、25℃で定値制御している室温目標値を 20℃に変更する場合において、25℃からの差をとらえて、変化の幅を最も扱いやすい値である 1.0 に置き換えたにすぎない。

特性値を以下にまとめて示す。

- ・遅れ時間 (delay time) T_d : 目標値の半分の値に到達する時間。
- ・立上り時間 (rise time) T_r : 目標値の 10% から 90% になるまでに要する

索 引

| | | |
|--|--|--|
| | <p>重ね合わせの原理 25 過渡応答 71</p> <p style="text-align: center;">【き】</p> <p>既 約 103 逆ラプラス変換 17 共振角周波数 58 共振値 58 共役複素数 45 極 43, 66 極座標形式 44 許容値 6</p> <p style="text-align: center;">【け】</p> <p>係数比較法 151 ゲイン 44 ゲイン交差角周波数 97 ゲイン条件式 139 ゲイン特性曲線 51 ゲイン余裕 95 限界感度法 120 減衰係数 48 減衰特性 125</p> <p style="text-align: center;">【こ】</p> <p>高周波領域 114 恒等式 151 固有角周波数 48 根軌跡 137 根軌跡法 138</p> <p style="text-align: center;">【さ】</p> <p>最終値の定理 16 最大行き過ぎ量 6</p> | <p>雑 音 125 参照モデル 126</p> <p style="text-align: center;">【し】</p> <p>時間スケール変換 パラメータ 126 時間領域 15 ジューゲラ・ニコルス 120 シーケンス制御 3 指数関数 12 持続振動 120 時定数 47, 55 周 期 120 周波数応答 42 周波数伝達関数 45 出力応答 28 出力信号 24 振 幅 43 振幅比 44</p> <p style="text-align: center;">【す】</p> <p>推移定理 15 ステップ応答法 120</p> <p style="text-align: center;">【せ】</p> <p>制 御 1 制御装置 3, 123 制御対象 1 制御偏差 3, 102 制御量 1 制し御する 1 整定時間 6 静電容量 6</p> |
| <p style="text-align: center;">【あ】</p> <p>安定限界 72, 120 安定な極 43</p> <p style="text-align: center;">【い】</p> <p>行き過ぎ時間 6 位 相 43 位相遅れ補償器 112 位相交差角周波数 96 位相条件式 139 位相進み補償器 112 位相特性曲線 51 位相余裕 96 一次遅れの微分要素 31 一次遅れ要素 30 一次のモーメント 126 一巡周波数伝達関数 93 一巡伝達関数 101, 103 因果律 24</p> <p style="text-align: center;">【う】</p> <p>後ろ向き伝達関数 94</p> <p style="text-align: center;">【お】</p> <p>オイラーの公式 45 遅れ時間 5</p> <p style="text-align: center;">【か】</p> <p>外部入力 4 外 乱 1 外乱抑制性 122 開ループ制御系 3 角周波数 42</p> | <p style="text-align: center;">【あ】</p> <p>安定限界 72, 120 安定な極 43</p> <p style="text-align: center;">【い】</p> <p>行き過ぎ時間 6 位 相 43 位相遅れ補償器 112 位相交差角周波数 96 位相条件式 139 位相進み補償器 112 位相特性曲線 51 位相余裕 96 一次遅れの微分要素 31 一次遅れ要素 30 一次のモーメント 126 一巡周波数伝達関数 93 一巡伝達関数 101, 103 因果律 24</p> <p style="text-align: center;">【う】</p> <p>後ろ向き伝達関数 94</p> <p style="text-align: center;">【お】</p> <p>オイラーの公式 45 遅れ時間 5</p> <p style="text-align: center;">【か】</p> <p>外部入力 4 外 乱 1 外乱抑制性 122 開ループ制御系 3 角周波数 42</p> | <p style="text-align: center;">【あ】</p> <p>安定限界 72, 120 安定な極 43</p> <p style="text-align: center;">【い】</p> <p>行き過ぎ時間 6 位 相 43 位相遅れ補償器 112 位相交差角周波数 96 位相条件式 139 位相進み補償器 112 位相特性曲線 51 位相余裕 96 一次遅れの微分要素 31 一次遅れ要素 30 一次のモーメント 126 一巡周波数伝達関数 93 一巡伝達関数 101, 103 因果律 24</p> <p style="text-align: center;">【う】</p> <p>後ろ向き伝達関数 94</p> <p style="text-align: center;">【お】</p> <p>オイラーの公式 45 遅れ時間 5</p> <p style="text-align: center;">【か】</p> <p>外部入力 4 外 乱 1 外乱抑制性 122 開ループ制御系 3 角周波数 42</p> |

| | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| 積分 | 117 | 定常偏差 | 6, 102, 125 | 比例要素 | 53 |
| ——のラプラス変換 | 16 | 定値制御 | 4 | | |
| 積分器 | 104 | デシベル | 51 | 【ふ】 | |
| 積分時間 | 46, 55, 118 | 電磁誘導現象 | 7 | 不安定領域 | 72 |
| 積分要素 | 46, 104 | 伝達関数 | 27 | フィードバック型 | 123 |
| 設計仕様 | 125 | 伝達要素 | 34 | フィードバック結合 | 36 |
| 線形システム | 42 | | | フィードバック制御系 | 3 |
| 線形性 | 15 | 【と】 | | フィードバック補償器 | 123 |
| 前置補償器 | 123 | 等価変換 | 35 | フィードフォワード型 | 123 |
| 【そ】 | | 特性根 | 66 | フィードフォワード制御 | 4 |
| 操作端外乱 | 107 | 特性多項式 | 80 | フィードフォワード | |
| 操作量 | 1 | 特性値 | 5 | 補償器 | 123 |
| 測定装置 | 3 | 特性方程式 | 66 | 複素平面 | 45 |
| 【た】 | | | | 複素方程式 | 139 |
| 代数方程式 | 19 | 【な】 | | 複素領域 | 15 |
| 畳込み積分 | 26 | ナイキストの安定判別法 | 94 | 部分的モデル | |
| 立上り時間 | 5, 125 | 内部モデル原理 | 110 | マッチング法 | 125 |
| 単位インパルス応答 | 24 | 【に】 | | 部分分数 | 17 |
| 単位インパルス関数 | 13 | 二次遅れ要素 | 32 | フーリエ変換 | 12 |
| 単位ステップ応答 | 28 | 二次方程式 | 67 | ブロック線図 | 34 |
| 単位ステップ関数 | 13 | 入力信号 | 25 | 分母系列表現 | 129 |
| 【ち】 | | | | 【へ】 | |
| 直列結合 | 35 | 【ね】 | | 閉ループ制御系 | 3 |
| 直列補償器 | 112 | 粘性減衰係数 | 9 | 並列結合 | 35 |
| 直交座標形式 | 70 | 【は】 | | ベクトル軌跡 | 46 |
| 【つ】 | | 判別式 | 67 | ヘビサイドの展開定理 | 18 |
| 追従制御 | 4 | 【ひ】 | | 【ほ】 | |
| 通分 | 118 | 非振動システム | 67 | 補助方程式 | 85 |
| 【て】 | | 非線形要素 | 101 | ボード線図 | 51 |
| 定位系 | 121 | 左半平面 | 72 | 【ま】 | |
| 低周波領域 | 66 | 微分 | 117 | 前向き伝達関数 | 88 |
| 定常位置偏差 | 103 | ——のラプラス変換 | 15 | マッチング | 126 |
| 定常ゲイン | 104, 109 | 微分時間 | 46, 54, 118 | 【み】 | |
| 定常状態 | 42, 102 | 微分方程式 | 19 | 右半平面 | 72 |
| 定常速度偏差 | 104 | 微分要素 | 46 | 【む】 | |
| 定常特性 | 102 | 標準形 | 48, 127 | むだ時間 | 15, 120 |
| | | 比例 | 117 | | |
| | | 比例ゲイン | 118 | | |

| | | | | | |
|------------|----------|------------|-----|------------|----|
| 無定位系 | 121 | | | ラウス・フルビッツの | |
| 【も】 | | 【φ】 | | 安定判別法 | 77 |
| 目標値 | 3 | 有理化 | 116 | ラプラス変換 | 13 |
| 目標値応答特性 | 122 | 【ら】 | | 【れ】 | |
| モデルマッチング式 | 129, 133 | ラウス表 | 77 | 連立方程式 | 18 |

| | | | | | |
|-------------|-----|-------------|---------|---------------|---------|
| 【数字】 | | 【英字】 | | PI 動作 | 126 |
| 1 形制御系 | 106 | D 動作 | 117 | PID 制御 | 117 |
| 2 自由度制御系 | 123 | I 動作 | 87, 117 | PID 制御系 | 87, 128 |
| | | I-PD 制御系 | 132 | PID 制御装置 | 117 |
| | | P 動作 | 117 | PID 動作 | 126 |
| | | | | <i>RLC</i> 回路 | 6 |

— 著者略歴 —

1976年 早稲田大学理工学部電気工学科卒業
1981年 早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了（電気工学専攻）
工学博士
1981年 東芝総合研究所勤務
1988年 埼玉大学助教授
1992年 防衛大学校助教
1999年 防衛大学校教授
2003年 東京都立科学技術大学教授
2005年 首都大学東京教授
2018年 首都大学東京名誉教授
2018年 交通システム電機株式会社 取締役副社長
現在に至る

電気学会上級会員（2005年）
計測自動制御学会フェロー（2010年）

著書 制御理論の基礎と応用（共著、産業図書、1995）
大学講義シリーズ 制御工学（コロナ社、2001）
演習で学ぶ現代制御理論（森北出版、2003）
演習で学ぶ基礎制御工学（森北出版、2004）
演習で学ぶPID制御（森北出版、2009）
演習で学ぶデジタル制御（森北出版、2012）
わかりやすい現代制御理論（森北出版、2013）

大学講義テキスト 古典制御

Classical Control Theory

© Yasuchika Mori 2020

2020年4月13日 初版第1刷発行



検印省略

著者 森 泰 親
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 美研プリンティング株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

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 978-4-339-03228-4 C3053 Printed in Japan

(新井)



<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、そのつど事前に、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。