制　御　理　論

児玉　慎三
池田　雅夫【共著】
太田　有三

コ ロ ナ 社

ま　え　が　き

本書は，第 1 著者である児玉が執筆を始め，第 2 著者の池田が執筆に加わり，そして第 3 著者の太田が加わって，3 名の共著という形で完成したものである。

IFAC（International Federation of Automatic Control，国際自動制御連盟）が 1957 年に設立されたことが象徴しているように，制御理論の研究は1950年代後半から盛んになった。児玉は 1960 年頃から，池田は 1960 年代が終わる頃から，太田は 1970 年代前半から制御理論の研究に従事し，おのおので，あるいは協力して研究成果を世に出し，制御理論の発展に貢献してきた。そして，制御理論の教育に携わり，後進の育成に努めてきた。本書はそうして得られた著者らの経験に基づいている。

制御理論では動的システムを数式モデルで表し，その性質を調べることによって，システムの動特性の本質をつかみ，制御できることや，できないことを明らかにしている。その中で，著者らは「できる」,「できない」について,「なぜ」ということを強く意識してきた。そうすることにより，できないことについて，無駄な挑戦をする必要がなくなる。そして，シミュレーションや評価計算によって，できることの中でよりよいものをみつけることの意味を理解することができる。

動的システムを数式モデルで表すことは制御理論以外の分野でも一般的に行われている。それらに比べると，制御理論における数式モデルは一般に抽象度が高いと考えられる。他の分野の数式モデルが元の現実システムの変数やパラメータを用いることが多いのに対して，制御理論の数式モデルの変数やパラメータは現実のものから離れることを許している。そのような抽象化によって，解析や設計の自由度を高め，制御系設計を柔軟に行うことができる。ただし，その結果を現実世界で実現する意識をもつことを忘れてはならない。

本書の第一の特徴は，このような認識のもと，制御対象の数式モデルの導出と線形時不変システムの動特性について，かなり詳しく述べている点である。

また，本書の第二の特徴は，制御系設計法を天下り的に紹介するのではなく，その動機や発想および設計に必要な視点をできるだけわかりやすく述べようとしている点である。

数式モデルについては，実システムの要素とそれらの結合関係から状態方程式と伝達関数を導くことを基本としている。動特性については，時間応答特性，周波数応答特性，安定性にそれぞれ 1 章ずつを費やしている。

また，制御系の基本であるフィードバック系の性質について，そして伝達関数と状態方程式に基づくフィードバック制御系設計法についてそれぞれ 1 章ずつを割いている。読者がそれらの設計法の動機や発想を理解すれば，本書で示した例を参考にして，広く応用が可能になるで

あろうと著者らは期待している。

制御理論に関する書籍が多数ある中，本書の視点が読者の理解を深めることに役立つことを望む。

謝辞

本書の執筆には，執筆者が途中で増えたこと，そして COVID−19 の流行による打ち合わせの中断などで，10 年以上を要しました。その間，辛抱強く脱稿を待って下さったコロナ社の関係の皆様に心より感謝申し上げます。また，編集担当の方には，原稿の記述が不統一なところや論旨のわかりにくいところ等をご指摘いただき，本書をより理解しやすいものにするための多大なる支援をしていただきました。心より御礼申し上げます。

2024 年 12 月

著者一同

目　　次

第 1 章　制御と制御理論

1.1　制　御　と　は …… 1
1.2　制　御　対　象 …… 2
1.3　制御の仕組み …… 3
1.4　制　御　理　論 …… 5
1.5　制御理論の歴史 …… 6
1.6　回路網理論からの示唆 …… 7
1.7　ラプラス変換 …… 8
演　習　問　題 …… 9

第 2 章　システムの数式モデル

2.1　システムと数式モデル …… 10
2.2　システムの構成要素 …… 11
　2.2.1　システムの基本要素 …… 12
　2.2.2　基本ブロック …… 14
2.3　ブロック線図によるシステムの記述 …… 15
　2.3.1　電　気　回　路 …… 15
　2.3.2　機　　械　　系 …… 17
　2.3.3　タンク水位系 …… 19
　2.3.4　平衡状態周りの数式モデル …… 22
2.4　入出力微分方程式 …… 23
2.5　状 態 方 程 式 …… 24
　2.5.1　状態方程式の導出 …… 24
　2.5.2　状態方程式の変換 …… 28
2.6　伝　達　関　数 …… 30
　2.6.1　伝達関数の状態方程式からの導出 …… 30
　2.6.2　入出力関係から導く伝達関数 …… 31
　2.6.3　システム記述式と伝達関数 …… 32

2.6.4 むだ時間要素の伝達関数 …… 34
2.6.5 ブロック線図と伝達関数 …… 35
2.6.6 ブロック線図における等価変換 …… 37
2.6.7 ブロック線図の結合における注意 …… 37
演 習 問 題 …… 38

第 3 章 システムの時間応答特性

3.1 状態の応答とシステムモード …… 41
3.1.1 状態方程式の解 …… 41
3.1.2 システムモード …… 43
3.1.3 零入力応答と零状態応答におけるシステムモード …… 46
3.2 システムモードの安定性 …… 48
3.3 可制御性と可観測性 …… 49
3.4 ステップ応答とインパルス応答 …… 53
3.5 伝達関数とシステムの応答 …… 54
3.5.1 有理伝達関数をもつシステムのインパルス応答とステップ応答 …… 56
3.5.2 低次系のステップ応答 …… 58
3.5.3 ステップ応答に対する指標 …… 61
3.5.4 ステップ応答に対する零点の影響 …… 64
3.5.5 ステップ応答に対する極の影響 …… 65
3.5.6 一般の入力に対する応答 …… 67
3.6 定常応答と追従性 …… 68
3.7 状態方程式と伝達関数の関係 …… 69
3.7.1 システム固有値と極 …… 69
3.7.2 状態方程式の実現 …… 72
演 習 問 題 …… 74

第 4 章 システムの周波数応答特性

4.1 正弦波入力に対する定常応答 …… 76
4.2 一般入力と周波数応答 …… 79
4.3 周波数伝達関数とその表示 …… 81
4.3.1 ボ ー ド 線 図 …… 82
4.3.2 ベクトル軌跡 …… 91
4.4 周波数伝達関数と特性近似 …… 94
演 習 問 題 …… 99

第 5 章　システムの安定性

5.1　システムの安定性について …… 101
5.1.1　内部安定性と入出力安定性 …… 101
5.1.2　安 定 判 別 法 …… 103
5.1.3　むだ時間要素を含むシステムの入出力安定性 …… 106
5.2　フィードバック制御系の安定性 …… 108
5.2.1　フィードバック制御系の構成と内部安定性 …… 108
5.2.2　入 出 力 安 定 性 …… 111
5.2.3　ナイキスト安定判別法 …… 113
5.2.4　むだ時間要素を含むフィードバック系の入出力安定性 …… 118
5.2.5　フィードバック制御系の安定度：ゲイン余裕と位相余裕 …… 119
5.2.6　ロバスト安定性 …… 122
演　習　問　題 …… 124

第 6 章　フィードバック制御系の特性

6.1　フィードバック制御の効果 …… 125
6.2　感度関数，相補感度関数とループ整形 …… 128
6.3　フィードバック制御系の過渡特性 …… 133
6.4　フィードバック制御系の定常特性 …… 135
6.4.1　目標値入力に対する定常偏差 …… 135
6.4.2　外乱に対する定常特性 …… 138
演　習　問　題 …… 139

第 7 章　フィードバック制御系の設計：伝達関数に基づく方法

7.1　フィードバック制御系 …… 141
7.2　根　軌　跡　法 …… 142
7.2.1　根　　軌　　跡 …… 142
7.2.2　根 軌 跡 の 特 性 …… 143
7.2.3　根軌跡法によるコントローラの設計 …… 145
7.3　周 波 数 応 答 法 …… 151
7.3.1　位相遅れ補償器の設計 …… 152
7.3.2　位相進み補償器の設計 …… 157
7.4　PID 補償器の設計 …… 162

7.4.1 限界感度法 …… 163
7.4.2 ステップ応答に基づく方法 …… 164
7.5 2自由度制御系 …… 166
演習問題 …… 169

第8章 フィードバック制御系の設計：状態方程式に基づく方法

8.1 状態方程式に基づく設計法の特徴 …… 170
8.2 状態フィードバック …… 171
8.2.1 極指定法 …… 171
8.2.2 最適レギュレータ …… 175
8.3 オブザーバ …… 177
8.4 積分補償 …… 180
8.4.1 積分補償を付加した拡大系 …… 181
8.4.2 積分型サーボ系 …… 182
8.5 2自由度サーボ系 …… 183
演習問題 …… 184

引用・参考文献 …… 186
演習問題解答 …… 188
索引 …… 209

第1章

制御と制御理論

本書では制御理論の考え方とその有用性を述べる。そのために，まず本章で，制御とは何かを述べたうえで，制御対象の捉え方および制御の仕組みを説明する。そして，制御理論の基本的考え方とともに，その発展の歴史を簡単に振り返る。加えて，制御理論が回路網理論の成果に基づいている点が多いことを述べる。また，制御理論の数学的道具の一つであるラプラス変換について，その定義と本書で必要になる性質および公式を提示する。

1.1 制　御　と　は

制御（control）とは，広辞苑（岩波書店）では「機械や設備が目的通り作動するように操作すること」，大辞林（三省堂）では「機械・装置などを目的とする状態に保つために，適当な操作を加えること」，大辞泉（小学館）では「機械・化学反応・電子回路などを目的の状態にするために適当な操作・調整をすること」とされている。このように，一般には，工業製品やそれらの製造に関係することと考えられているようである。

これらの定義は，制御が対象としてきたモノの歴史を反映している。現在はより広く，物理的あるいは化学的か否かにかかわらず，社会システムや経済システムを含めて，「動きのあるシステムに対して，望ましい振る舞いを実現するように操作することが制御である」と考えることが適切である。じっさい，経済学でも，制御理論と同じシステムの捉え方や手法，成果が使われている[1),2)†]。また，最近，政策決定などでよく使われるEBPM（エビデンス・ベースト・ポリシー・メイキング）の考えは制御の視点と同じである。

制御で考える実現すべき振る舞いは大きく三つに分けることができる。第一は，モータの回転数を一定にすること，化学反応器の温度を一定に維持すること，前方の車との距離を一定に保ちながら自動走行することなど，指定された値を保つ制御である。このような制御を**定値制御**と呼ぶ。この制御においては，何らかの原因（後に述べる外乱等）によって，出力が指定された値から外れた場合，速やかに指定された値に戻すことが求められる。振動を抑制する制御も定値制御の範疇（はんちゅう）である。

工業の歴史においては，Wattが蒸気機関の回転数を一定に保つために用いた振り子型遠心調

† 肩付き数字は巻末の引用・参考文献の番号を表す。

速機が有名である。回転数が設定値より上がれば回転機への蒸気量を減らし，下がれば蒸気量を増やすように蒸気弁の開度を自動的に調節する機構である。この装置のアイデアの基は，風車を動力源とした製粉装置における石臼の回転数を一定にするための，石臼の隙間を自動的に調節する機構であるといわれている[3)]。初期の制御装置は錘，梃，ベルトなどを用いて機械的に実現されていた。

第二の実現すべき動作は，静止しているモータを指定された回転数にする，化学反応器の温度を室温から指定された温度まで上昇させる，車の縦列自動走行において自動走行に入る前の車間を指定された距離に変更するなど，出力を指定された値に変更することである。このような制御を**追値制御**と呼ぶ。この制御においては，指定された出力値を速やかに実現することが求められるが，途中で回転数が大きくなり過ぎる，温度が高くなり過ぎる，車間距離が近くなり過ぎるなどの行き過ぎが生じないことが求められる。追値制御は定値制御の性質ももたねばならない。

定値制御と追値制御が制御の基本であり，本書ではこれらに必要な議論を進めていく。最近は，これらに加えて，第三の実現すべき動作として，車を自動で指定された場所にバックで駐車させる，搬送ロボットを定められた経路に従って自動運転するなど，指定された動きの実現が望まれている。このような制御を**追従制御**と呼ぶ。追従制御の基になるのは追値制御である。

さらに，出力の目標が事前には指定されず，実際の場で，他の対象の動作に適応する制御もあるが，本書では触れない。

1.2 制御対象

われわれはそのような制御の対象となるシステムを**図 1.1** のように捉える。まず，システムの動作に影響を及ぼす変数として**操作入力**と**外乱**がある。操作入力はわれわれが操ることができる変数である。一方，外乱はわれわれが操ることができない変数である。外乱には測定できるもの，測定はできないが性質（一定値であることや周期性など）がわかっているもの，ほとんど情報がないものがあり，それらごとに適切な制御の仕方，つまり方策が異なる。制御方策に従って操作入力を実現する機器を**アクチュエータ**と呼ぶ。

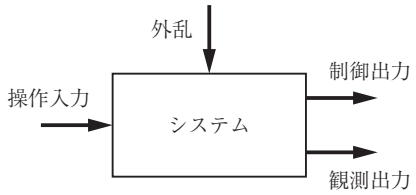

図 1.1　制御対象の捉え方：入出力システム

つぎに，システムから現れる変数として**制御出力**と**観測出力**がある。制御出力とはわれわれが望ましい動きを希望する変数であり，観測出力とは操作入力の決定のために用いられる情報を与える変数である。観測出力として情報を取り出す機器を**センサ**と呼ぶ。

このような入力（操作入力，外乱）と出力（制御出力，観測出力）の間には因果関係が存在するとする。すなわち，入力という原因によって，出力という結果が生じると考える。なお，実際のシステムにおいては，その入力と出力が一義的でない場合がある。例えば，モータは電流を加えて回転力を発生するものであるが，逆に回転力を加えて電流を発生する発電機として使用することもできる。前者では電流が入力，回転力が出力であるのに対して，後者では回転力が入力，電流が出力である。じっさい，電車においては，加速時にはモータとして使用して駆動力を発生させ，減速時には発電機として使用して電流を架線に回生するという使い方がされている。つまり，因果関係は対象の固有の性質とは限らず，その捉え方は使用目的に依存する。ゆえに，物理的に同じものでも，制御においては，モータとして使用する場合と発電機として使用する場合は別のシステムとして扱われることになる。

制御対象を，加えられた入力に対してどのような出力が生じるかという応答解析の対象としてみるとき，それらを一般的に**入出力システム**（input-output system）という。そして，現在の入力だけでなく，過去の入力によっても現在の出力が決まるシステムを**動的システム**（dynamic system）と呼ぶ。一方，現在の出力が現在の入力のみによって決まるシステムを**静的システム**（static system）と呼ぶ。本書では，システムはほとんどの場合，動的システムを意味する。

なお，本書は制御理論の基本的考え方を理解するために，外乱が存在せず，操作入力（以下，入力と呼ぶ）が一つで，制御出力と観測出力が同一（以下，出力と呼ぶ）かつ一つであるような単純な場合をおもに扱う。ただし，第7章と第8章においては外乱が存在する場合について，第8章では観測出力が制御出力と異なる場合についても議論する。

1.3 制御の仕組み

1.1節で，制御の基本は定値制御と追値制御であることを述べた。定値制御は，出力を観測して，指定された値（固定）から外れた場合は，その値に引き戻す制御である。したがって，制御方策は出力の指定値と実際の値の差を基に，**制御器**（**コントローラ**）が適切な入力を発生するという**図 1.2**(a)の構成になる。この構成を**フィードバック制御系**（feedback control system）と呼ぶ。制御対象の振動を抑制する目的の制御の場合は，図(b)の構成のように捉える

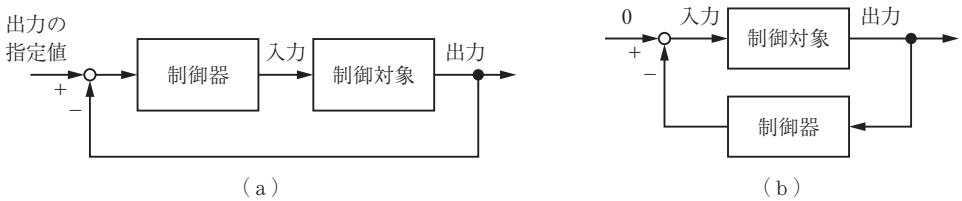

図 1.2　フィードバック制御系

こともできる。これらの図はブロック線図と呼ばれ，制御理論においてよく使われる。詳細は第 2 章で述べる。

追値制御においては，出力の目標値としてステップ関数やランプ関数，正弦波関数等が考えられている。そして，それらの関数のクラスに応じて，図 1.2(a)の制御器が，出力の指定値を目標値に置き換えて，追値誤差（出力の目標値−出力）が 0 に漸近するように設計される。本書では，出力の目標値がステップ関数の場合には，制御器が積分特性を含むことが必要であることを第 6 章と第 8 章で示す。

しかし，フィードバック制御系は結果をみて差を小さくするという後追いの制御であり，出力を速やかに目標値に到達させようとして制御器のゲインを上げると，不安定になるなどの問題が生じることがある。それを解決するために，出力の目標値の情報を積極的に使い，出力が望ましい動きをするような入力を制御器で発生して加える**図 1.3** の**フィードフォワード制御系**（feedforward control system）の構成が考えられる。この場合，制御器の役割は，出力が速やかに目標値に到達するような入力を制御対象の動特性を基に計算（逆算）することである。

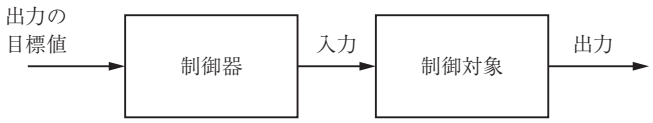

図 1.3　フィードフォワード制御系

実際には，フィードフォワード制御が単独で用いられることは少なく，フィードフォワード制御における入力の計算誤差と外乱の影響の抑制や応答特性の改善のため，**図 1.4** のように制御器 2 によるフィードバックと併用されるのが一般的である。これは **2 自由度制御系**（two-degree-of-freedom control system）とも呼ばれる。2 自由度制御系としては，この他にいくつもの構成が考えられている。それらはいずれもフィードバック制御で実現できる特性とフィードフォワード制御で実現できる追値制御の特性を独立に設計することを目的としている。本書では，第 7 章と第 8 章で 2 自由度制御系について述べる。

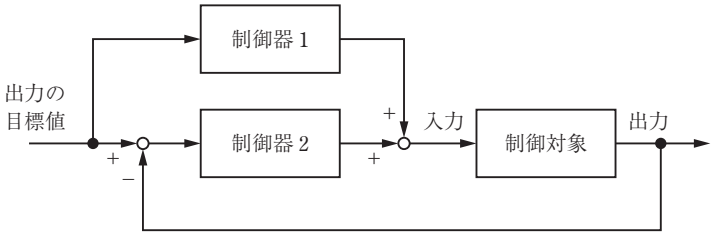

図 1.4　2 自由度制御系の例

なお，追値制御の延長線上にある追従制御は，図 1.2，1.3 あるいは 1.4 において，出力の指定値あるいは目標値となっているところを出力の望ましい時間的変化（クラスを制限しない自由な関数）に置き換えた形で実現するものである。

1.4 制　御　理　論

図 1.1 のように制御対象を捉えることにより，対象の属性に依存せず，もともとは多様なシステムを統一的に扱う**制御理論**（control theory）が生まれた。すなわち，制御理論とは，制御対象となるシステムの入力と出力の間の因果関係つまり動特性を数式（数式モデル，あるいは単にモデルと呼ぶ）で表し，数学的知見を駆使して，システムの安定性の解析や，望ましい振る舞いを実現する制御器の設計を行うものである。数式モデルの種類や，具体的な対象から数式モデルを導く方法は第 2 章で述べる。

システムの動特性を数式モデルで表した段階で，元のシステムが機械系であった，化学系であった，電機（電気機械）系であったなどという属性から独立する。さらに，同様の数式で表すことができる経済システムや，社会システムなども制御対象に含めることができる。

当初，対象がおもに機械系や電機系であったため，制御理論で用いる数式は常微分方程式であったが，対象が広がるにつれ，偏微分方程式や差分方程式，むだ時間表現，離散事象を表すペトリネット等に広がっていった。なお，本書では，第 2 章で述べるように，線形かつ時不変の常微分方程式で表されるシステム（**線形時不変システム**と呼ぶ）をおもな対象とする。

上で述べたように，制御理論の長所は，システムを数式モデルで表すことによって，数学的知見を駆使することができる点にある。しかし，数学的知見を駆使するためには数式や変数の変換が必要となるため，例えば機械系であれば，質量は必ず正，摩擦係数やばね定数は非負という性質がみえなくなってしまうことがあり，それらの性質を解析や設計に活かせない可能性もある。また，化学物質の濃度は必ず非負であるという変数の範囲が無視された取り扱いになる可能性もある。これらの問題点は認識されており，その認識のもとに構築された理論（例えば，ディスクリプタ表現[4]や非負システム[5]など）も存在するが，本書では触れない。

制御理論は

- どのような制御対象に
- どのような状況のもとで
- どのような情報を
- どう使うと
- どのような制御が可能か

を明らかにしてきた[6]。したがって，制御理論を有効活用するには，何が制御目的か，制御対象から何が情報として得られるか，制御対象のモデルの確かさはどの程度か，使える方策・制御器はどのようなものか，などを明確に把握する必要がある。

制御理論はまた，「何ができるか」だけでなく，「何ができないか」をも明らかにしてきた。例えば，**図 1.5** のような台車に倒立振子が載ったシステムの場合，人が手を水平に動かして手のひら上の棒を立てるように，直感的には振子の倒れ角 θ とその角速度 $\dot{\theta}$ を，台車を左右に動

索　　引

【あ】

アクチュエータ 2
安定多項式 103
安定度 108, 119
安定な極 58
安定なシステム固有値 48
安定モード 48
行き過ぎ時間 62
行き過ぎ量 62
位　相 82
位相遅れ補償器 142
位相交差周波数 120
位相進み–遅れ補償器 150
位相進み補償器 142
位相余裕 120
一巡伝達関数 109
位置偏差定数 135
インパルス応答 54
折れ線近似 85
折れ点周波数 85

【か】

外部安定 102
外　乱 2
回路網理論 7
可観測 50
可観測正準形 74
可制御 50
可制御正準形 73
過制動 61
加速度偏差定数 136
過渡応答 68
完全に特性化される 70
還送差 109
観測出力 2
感度関数 130
極 56
極に対応するモード 58
極配置法 145
係数器 14
ゲイン 82
ゲイン交差周波数 120
ゲイン余裕 120
限界感度法 163
減衰係数 60
減衰性 62
根軌跡 143
根軌跡法 145
コントローラ 3

【さ】

サーボ系 141
最終値定理 9
最小位相 88
最小多項式 44
システムゲイン 95
システム固有値 44
システムの次数 14
システムモード 45
自然角周波数 60
実　現 72
時定数 49
支配極 66
集中定数系 11
周波数伝達関数 82
出力方程式 25
状　態 24
状態ベクトル 24
状態変数 24
状態方程式 23, 24
初期値定理 9
真にプロパー 56
数式モデル 10
ステップ応答 54
ステップ応答法 164
制　御 1
制御器 3
制御出力 2
制御理論 5
整定時間 61
静的システム 3, 14
積分器 14
積分補償法 181
零　点 56
零状態 32
零状態応答 31, 42
零入力応答 31, 42
線形係数器 14
線形システム 14
線形時不変システム 5
センサ 2
操作入力 2
相対次数 56
相補感度関数 131
速応性 62
速度偏差定数 136

【た】

タコメータ 126
立ち上がり時間 61
単位インパルス関数 53
単位ステップ関数 53
単位フィードバック系 128
超関数 53
直結フィードバック系 129
追従制御 2
追　従 68
追値制御 2
ディケード 82
定常位置偏差 135
定常応答 68
定常速度偏差 136
定常定加速度偏差 136
定常偏差 68
定値制御 1
伝達関数 23, 30, 32
等 M 軌跡 133
等　価 28
動的システム 3, 14
特性多項式 44

【な】

ナイキスト安定判別法 113, 114
ナイキスト軌跡 113
内部安定 49, 102

内部モデル原理 138
入出力安定 58, 102
入出力システム 3
ノルム 95

【は】

パデー近似 35
バンド幅 90
不安定モード 48
フィードバック制御系 3, 108
フィードフォワード制御系 4
不足制動 61
フルビッツの安定判別法 105
ブロック線図 15
プロパー 56
分布定数系 11
ベクトル軌跡 91
ボード線図 82
ボードの積分定理 132

【ま】

むだ時間要素 34
名目モデル 11
モード正準形 29
目標値に対し k 型 136
モデリング 10

【や】

有界入力–有界出力安定 107
有限次元システム 14

【ら】

ラウスの安定判別法 104
ラウス表 104
ループ整形 132
レギュレータ系 141
ロバスト安定 122

【数字】

2 自由度制御系 4

【英字】

k 型 136
PID 補償器 136, 142
PI 補償器 136

― 著者略歴 ―

児玉　慎三（こだま　しんぞう）
1955 年　早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業
1958 年　オレゴン州立大学大学院修士課程修了（電気工学専攻）
1963 年　カリフォルニア大学バークレー校大学院博士課程修了（電気工学専攻），Ph.D
1962 年　大阪大学講師
1968 年　大阪大学助教授
1974 年　大阪大学教授
1995 年　大阪大学名誉教授
　　近畿大学教授
2002 年　近畿大学退職

池田　雅夫（いけだ　まさお）
1969 年　大阪大学工学部通信工学科卒業
1971 年　大阪大学大学院工学研究科修士課程修了（通信工学専攻）
1973 年　大阪大学大学院工学研究科博士課程中途退学（通信工学専攻）
　　神戸大学助手
1975 年　工学博士（大阪大学）
　　神戸大学講師
1976 年　神戸大学助教授
1990 年　神戸大学教授
1995 年　大阪大学教授
2010 年　大阪大学名誉教授
　　大阪大学特任教授
2017 年　大阪大学特任学術政策研究員
2020 年　大阪大学退職

太田　有三（おおた　ゆうぞう）
1972 年　神戸大学工学部電気工学科卒業
1974 年　神戸大学大学院工学研究科修士課程修了（電気工学専攻）
1977 年　大阪大学大学院工学研究科博士課程修了（電子工学専攻），工学博士
1977 年　福井大学助手
1981 年　福井大学助教授
1987 年　神戸大学助教授
1996 年　神戸大学教授
2015 年　神戸大学名誉教授

制　御　理　論

Control Theory

©Shinzo Kodama，Masao Ikeda，Yuzo Ohta 2025

2025 年 2 月 20 日　初版第 1 刷発行　★

検印省略

著　者　児玉　慎三
　　池田　雅夫
　　太田　有三
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 978-4-339-03247-5　C3053　Printed in Japan　（西村）

JCOPY　<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。