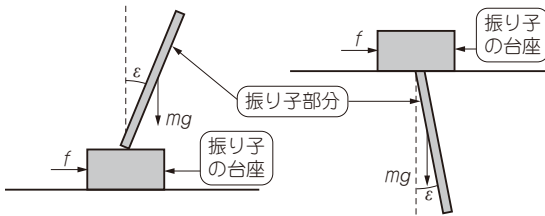


倒立振子で始める 制御設計はじめての一步

ご購入はこちら

廣川 類



(a) 上向きに支持する場合 不安定なつり合い点 (b) 下向きに支持する場合 安定なつり合い点

図1 棒を直立させるよう制御してみる
加えた力: f , 重力: mg , 質量: m

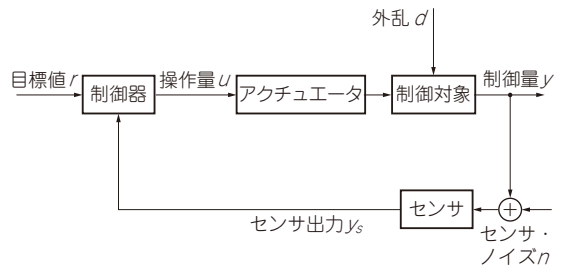


図2 フィードバック制御系の構成

第1部では倒立振子ロボを例に、立式、シミュレーション、実機実装までを紹介しました。制御系の設計には線形代数が不可欠で、モデル分析やシミュレーションでは行列やベクトルを用います。そこで第2部では、線形代数の基礎と制御系設計手法を解説します。(編集部)

● 第2部でやること

ドローンや人工衛星など、人の手を介させることなく自律的に動作する必要があるものを制御するためには、制御する対象のダイナミクスを正しくモデル化し、安定性を保ちつつ、求められる制御性能(応答性、収束性など)を実現する制御器を設計する必要があります。

制御系を設計するためには、行列やベクトルなどの線形代数に関する知識が不可欠です。ダイナミクス・モデルの特性を分析したり、数値シミュレーションを行ったりする際には、制御対象を線形な連立微分方程式で表しますが、これらは行列やベクトルを用いて記述されます。また、制御系の安定性や応答性に関する設計、解析には、固有値や固有ベクトルを求める必要があります。

本稿では、JupyterLabでPythonを用いて体験しながら、制御工学を記述する数学と制御系の基本的な設計手法を説明します。数式は通し番号で参照します。

制御の基本…倒立振子

● 倒立振子問題…不安定なものを安定させたい

小さいころ、掃除で使うほうきや長い棒を手のひらに載せて鉛直上向きに立てる遊びをしたことがあるかもしれませんが、手を動かしても棒を直立させ続けるために、棒が倒れそうな方向に手を素早く動かしていきます。素早く動かすことができると、棒を直立させたまま維持できますが、うまくいかない場合は棒が倒れます。このような支点よりも重心が高い位置にある振り子を、制御工学では倒立振子と言います(図1)。倒立振子のように外乱に対して制御を行わないと安定性を保てない系は、不安定であると言われます。倒立振子は、制御可能な不安定系の代表例です。一方、振り子を鉛直下向きに制御する例を考えると、制御しない状態でも重力が常に棒を下に倒すため、下向きの状態で安定しています。このような系は、外乱などに対して安定であると言えます。

● 物体を安定して動かすには高度な制御技術が必要

一般に外乱に対して系が一定の状態を維持する方が好ましいとされていますが、実際には、不安定系は身近な場所に存在します。類似の不安定系の最も身近な事例は、人間の2足歩行です。人間は歩行を無意識のうち成功させていますが、ロボットでこれを実現さ