参考書

現代制御論：吉川恒夫、井村順一、昭晃堂、3700 円、ISBN 4-7856-9049-6、1994

入門現代制御理論：白石昌武、日刊工業新聞社、2700 円、ISBN 4-526-03690-0、1995

1. 古典制御と現代制御

（学習内容）

・古典制御理論と現代制御理論の特徴

・古典制御の復習を行う

1.1 自動制御とは

制御：ある目的に適合するように対象に所要の操作を加えること

自動制御：制御装置によって自動的に行う制御

例）コタツの温度を適温に保つ　人間によるスイッチ操作　→　バイメタルによる温度調節

　　カーブに合わせて自動車のハンドルを操作　→　自動化

制御系の設計手順

モデル化（対象を記述）　：運動方程式、伝達関数、（状態方程式）

↓

解析（どう動くか）　：過渡応答、周波数応答、安定性、（可制御性、可観測性）

↓

設計（どう動かすか）：補償、（極配置、最適制御）

制御の歴史

1788 年　Watt の遠心調速機

（フィードバック制御により蒸気機関の回転速度を一定に保つ）

～1960 年　古典制御：　伝達関数の概念を用いた周波数領域における制御法

1960～1980 年　<u>現代制御</u>：　状態変数の概念を用いた時間領域における制御法

1980～2000 年　ロバスト制御：　H∞制御　モデル化の誤差等の制御対象の不確かさに対処

古典制御と現代制御の融合

1.2 古典制御理論と現代制御理論

古典制御と現代制御の比較

古典制御	現代制御
伝達関数	状態方程式
入出力による解析	内部状態を考慮した解析
周波数領域	時間領域

一入力一出力	多入力多出力
時不変線形システム	(時変システム、非線形システム)
試行錯誤的な制御系の設計	評価関数による設計

現代制御：より複雑で多様な制御対象に対し、より厳密な解析、設計を行う

1.3 古典制御理論の復習

(1) ラプラス変換

時間関数 f(t)に対し　$F(s) = L[f(t)] = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt$　で定義

・代表的なラプラス変換

時間関数 f(t)	ラプラス変換 F(s)	
δ(t)	1	(デルタ関数)
u(t)=1	$\frac{1}{s}$	(ステップ関数)
t	$\frac{1}{s^2}$	(ランプ関数)
e^{-at}	$\frac{1}{a+s}$	
sinωt	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$	
cosωt	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$	

(例) f(t)=u(t)　の場合

$$\int_0^\infty f(t)e^{-st}dt = \int_0^\infty e^{-st}dt = [-\frac{1}{s}e^{-st}]_0^\infty = -\frac{1}{s}(0-1) = \frac{1}{s}$$

・ラプラス変換の基本的性質

性質	f (t)	F(s)
線形性	$f_1(t) + f_2(t)$	$F_1(s) + F_2(s)$
微分	$\frac{df(t)}{dt}$	sF(s)−f(0)
積分	$\int f(t)dt$	$\frac{F(s)}{s}$
最終値の定理	$\lim_{t\to\infty} f(t)$	$\lim_{s\to 0} sF(s)$
初期値の定理	$\lim_{t\to 0} f(t)$	$\lim_{s\to\infty} sF(s)$
推移	$e^{at}f(t)$	F(s−a)

合成(convolution)	$\int_0^t f_1(t-\tau) f_2(\tau) d\tau$	$F_1(s)F_2(s)$

（例）微分の場合

$$\int_0^\infty \frac{df(t)}{dt} e^{-st} dt = [f(t)e^{-st}]_0^\infty + s\int_0^\infty f(t)e^{-st} dt = -f(0) + sF(s)$$

(2) 伝達関数

・伝達関数＝出力のラプラス変換/入力のラプラス変換

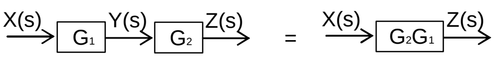
$Y(s)=G(s)U(s)$　　　G(s)：伝達関数

・ブロック線図

要素の結合、信号の伝達を表現

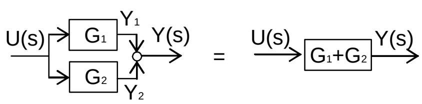
a) 直列結合

$Y(s)=G_1(s)X(s)$　$Z(s)=G_2(s)Y(s)$　→　$Z(s)/X(s)=G(s)=G_2(s)G_1(s)$



b) 並列結合

$Y_1(s)=G_1(s)U(s)$　$Y_2(s)=G_2(s)U(s)$　$Y(s)=Y_1(s)+Y_2(s)$　→　$Y(s)/U(s)=G(s)=G_1(s)+G_2(s)$

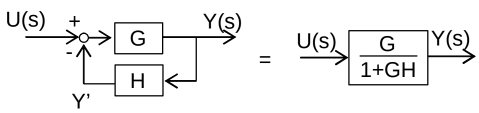


c) フィードバック結合

$Y(s)=G(s)(U(s)-Y'(s))$　$Y'(s)=H(s)Y(s)$　→　$Y(s)/U(s)=W(s)=G(s)/(1+G(s)H(s))$

W(s)：閉ループ伝達関数

G(s)H(s)：一巡伝達関数



(3) 周波数伝達関数

周波数特性：いろいろな周波数の正弦波入力に対する出力の特性

伝達関数 G(s)において　$s=j\omega$　とおく　$G(j\omega)$：周波数伝達関数　→周波数特性を示す

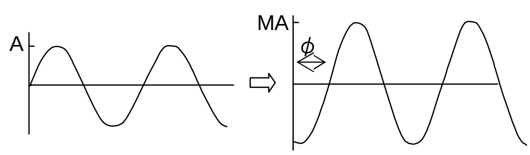
$G(j\omega)$は複素数、$G(j\omega)=Me^{j\phi}$　と表せる

$M=|G(j\omega)|$：ゲイン　$\angle G(j\omega)=\phi$：位相差　を示す

伝達関数 G(s)の要素に正弦波　$u(t)=Ae^{j\omega t}=A(\cos\omega t+j\sin\omega t)$　を入力すると、

定常状態での出力は　$x(t)=Ae^{j\omega t}\cdot G(j\omega)=MAe^{j(\omega t+\phi)}$　となる

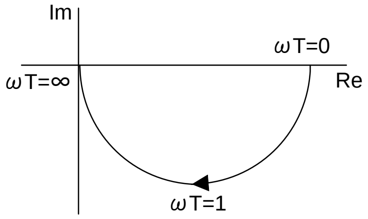
振幅 M 倍、位相 ϕ　ずれる



(4) ベクトル軌跡

ωを 0 から∞に変化させたときの G(jω)を複素平面上に表したもの

（例）1 次遅れ要素



$$G(j\omega)=\frac{1}{1+j\omega T}=\frac{1}{1+\omega^2T^2}-j\frac{\omega T}{1+\omega^2T^2}$$

(5) ボード線図

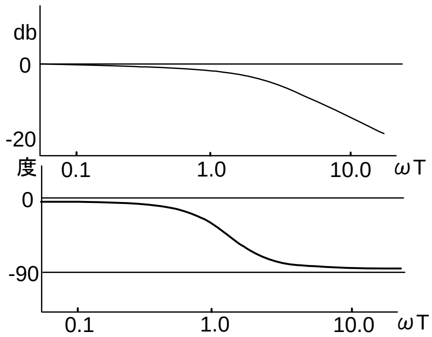
ゲイン曲線：周波数ωに対するゲインの変化を示す　$20\log_{10}|G(j\omega)|$　(db)

位相曲線：周波数ωに対する位相差を示す　∠G(jω)　(度)

（例）

$$20\log|G(j\omega)|=20\log\frac{1}{\sqrt{1+\omega^2T^2}}=-20\log\sqrt{1+\omega^2T^2}=-10\log(1+\omega^2T^2)$$

$$\angle G(j\omega)=\tan^{-1}(-\omega T)$$



(6) 補償

制御系の設計：安定性、速応性、定常性

ベクトル軌跡、ボード線図をもとに安定性等を考える

（例）

ナイキストの安定判別：一巡伝達関数のベクトル軌跡が(-1, j・0)を常に左に見れば安定

ゲイン調整によりゲイン曲線を移動させる

位相余裕（ゲインが 0db のときの位相差の-180 度までの余裕：安定性の指標）を希望値にする