

# グラフ電卓 TI-92PLUS を利用した制御系解析設計援用システムの開発

Development of an Aided System for Analysis and Synthesis of Control System  
using Graphing Calculator TI-92PLUS

正 川谷亮治 (福井大)

Ryoji KAWATANI, Fukui University, 3-9-1, Bunkyo, Fukui

Email:kawatani@mech.fukui-u.ac.jp

http://feedback.mech.fukui-u.ac.jp/

Keywords:Control system, Graping Calculator, Analysis and Synthesis, Computer Algebra

## 1 はじめに

制御系の設計は、(1) モデリング、(2) 解析、(3) 設計とシミュレーションによる評価、(4) 実装、という4つのステージに大別できる。各ステージにおいて、計算機援用システムの果たす役割が大きいことは言うまでもない。制御工学の分野でよく知られた MATLAB は (2)~(3) のステージが主な対象であり、(1) に対しては Maple などの数式処理が有用である<sup>1)</sup>。これらの活用により、快適な環境を容易に手にすることができる<sup>2)</sup>。しかし、その反面、個人的に気軽に使用するには少し高額であるという問題点がある。また、パーソナルコンピュータの使用を前提としていることも問題かもしれない。

本稿で紹介するグラフ電卓 TI-92PLUS は、数式処理機能を有する電卓であり、小規模のシステムの解析・設計に対しては十分利用可能なものである。ただし、基本的な線形代数のライブラリは有しているが、制御系の解析・設計を意識したライブラリが特に用意されているわけではない。そこで、本稿では、そのために作成したライブラリを紹介する。

## 2 グラフ電卓 TI-92PLUS

TI-92PLUS の概観を Fig.1 に示す。



Fig. 1: Graphing Calculator TI-92PLUS

TI-92PLUS は  $103 \times 239$  ピクセルの液晶表示部をもち、テキスト表示だけでなく、グラフ表示も可能である。液晶の周囲に配置されている数多くのキーも操作性への配慮が十分になされている。また、350 を超

える関数・命令が標準で準備されているだけでなく、これらを利用してユーザ自身が関数やプログラムを作成できる。500K バイトを越えるメモリが組み込まれている。さらに、グラフ電卓同士の接続やパソコンとの接続も専用のケーブルを利用して行える。したがって、作成した関数やプログラムをインターネットを利用して配信することも可能である。

## 3 設計・解析用ライブラリ

本節では、作成したライブラリの一部を機能別に分類して紹介する。

### 3.1 システム行列

本稿で紹介するライブラリが対象とするのは、線形状態空間モデル

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (1)$$

もしくは伝達関数  $P(s) = D + C(sI - A)^{-1}B$  である。ただし、TI-92PLUS 上で作成する関数の戻り値がただ一つであることと扱いを容易にする目的で、式 (1) 中の行列  $A, B, C, D$  を一つの行列にまとめる。この行列をシステム行列と呼ぶ。

### 3.2 システム行列関連

システム行列の作成と分解

mksys : システム行列の作成

ssize : システムのサイズ

subsa : システム行列内の行列 A の置き換え

sysa~sysd, ssdata : 行列 A~D の取り出し

システム行列変換

ss2ss : システムの正則変換

transfer : 伝達関数 (行列) の計算

minreal : 最小実現

c2d : 零次ホールド法による離散化

システム結合

series, parallel : 直列 (並列) 結合

feedback : フィードバック結合  
 invsys : 逆システム

### 3.3 システムの定性的性質

hurwitz : Hurwitz の安定判別法  
 sylvest : Sylvester 方程式の解  
 lyap : リアプノフ方程式の解  
 ctrb, obsv : 可制御 (観測) 行列の計算  
 cgram, ogram : 可制御性 (可観測性) グラミアン

### 3.4 制御器設計

place : 極配置法  
 lqr : 最適レギュレータ  
 cont : 制御器の計算

### 3.5 時間応答

invlap : 逆ラプラス変換  
 impulse : 単位インパルス応答  
 step : 単位ステップ応答  
 initial : 初期値応答  
 lsim : 任意の入力に対する時間応答  
 finalval : 応答の最終値

### 3.6 周波数応答

freqc : 複素周波数応答の計算  
 freqp : 極座標表現した周波数応答  
 freqgp : ゲイン・位相表現した周波数応答  
 margin : ゲイン・位相余裕の計算

### 3.7 応答の画面表示

timeresp : 時間応答  
 bode : BODE 線図  
 vect : ベクトル軌跡  
 pzmap : 伝達関数の極零表示

## 4 磁気浮上系に対する使用例

前節で紹介したライブラリの適用事例を示す。ここでは、次式に示す磁気浮上系を対象とする。

$$\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ aa & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ bb \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x \end{cases} \quad (2)$$

システム行列を作成し、可制御性・可観測性の判定の後、極配置法により状態フィードバック制御器を設計し、単位ステップ応答を求める。ここまでは、式 (2) 中の  $aa$ ,  $bb$  には特に数値を与えていない。最後に、これらのパラメータに数値を代入した後、その応答を図示する。ここでは  $aa = 2500$ ,  $bb = -10$ ,  $lam1 =$

$-50 + 50j$ ,  $lam2 = -50 - 50j$  とした。以上の手順を次に示す。また Fig.2, Fig.3 に結果を示す。

```
[0,1;aa,0] → a : [0;bb] → b
[1,0] → c : [0] → d
mksys(a,b,c,d) → sys
det(ctrb(a,b))
det(obsv(a,c))
place(a,b,{lam1,lam2}) → k
subsa(sys,a-b*k) → syscl
transfer(syscl) → gcl
invlap(gcl/s) → ycl
ycl | aa=2500 and bb=-10
ans(1) | lam1=-50+50i and lam2=-50-50i
```

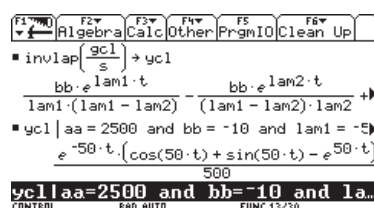


Fig. 2: Results on the screen of TI-92PLUS

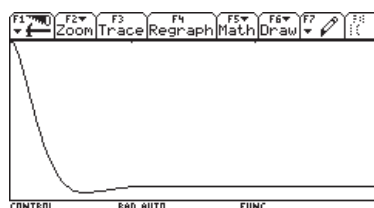


Fig. 3: Step response

## 5 おわりに

本稿では、グラフ電卓上で作成した制御系解析・設計用ライブラリの紹介を行った。計算処理能力の関係から、応答の計算に時間が必要なため、比較的小規模なシステムに限定されるが、利用価値は十分に高いと考える。本稿で紹介したライブラリならびにマニュアルは <http://feedback.mech.fukui-u.ac.jp/ttt/> で公開している。また、グラフ電卓に関しては、4), 5) で詳細にまとめられているので参考にしてもらいたい。

## 参考文献

- 1) 川谷 : 制御系設計における数式処理 Maple の活用, 計測と制御, 40, 3, p.247 (2001)
- 2) 川谷 : 制御シミュレーションの実際, インタフェース, p.92 (2002)
- 3) TI-92PLUS ガイドブック
- 4) <http://www.naoco.com/>
- 5) <http://www.ichinoseki.ac.jp/gene/mathnavi/>