

【作成方法】 zip
【サポート】 随時
【種 別】 フリーウェア
【転載条件】 なし

ダウンロードありがとうございます。

P I D自動制御系 CAI システムは、北大工学部、旧電気工学科 応用制御工学講座で開発した「多重パイプライン方式制御器」を採用しております。

また「グラフ」機能もあり。ステップ応答波形などを、グラフに表示させることができます。1990年代に学生実験でも採用しました。

まず、「IntelligentPad -基本セット-[IP060B_2.exe]」をインストールしてください。この場合、注意書きの表示がされる場合がありますが、インストールを実行しても問題ありません。

■場所 http://pads.kplex.co.jp/_old/ip/trial/IP060B_2.html

なお、Windows11において、IntelligentPad -基本セットがインストールができない場合は、Windows10システムでダウンロードと解凍をおこない、基本セットのファイルを全て、Windows11のシステムに移植 (C:\Program Files (x86)\Fujitsu\IntelligentPad) して下さい。

次に、本P I D自動制御系 CAI 「PID control CAI systems6-3-3.zip」をダウンロードして、「LhaForg」や「Lhaplus」などのzip解凍ソフトで「PID control CAI systems6-3-3.zip」を解凍して下さい。

■ 解凍されるファイル

ProcessCAIV6-3-3-12.snp
ServoCAIV6-3-3-12.snp
PID control CAI systems6-3-3-12.DOC (説明書)
Images (GEAR1~GEAR-12 (BMP ファイル))

■ 「格納場所 (インストール方法) 」

1. PID 自動制御系 CAI システム(ProcessCAIV6-3-3-12.snp および ServoCAIV6-3-3-12.snp)の格納場所

C:\Program Files (x86)\Fujitsu\IntelligentPad\usr\Snapshot

2. Images (GEAR1~GEAR-12) の格納場所

C:\Program Files (x86)\Fujitsu\IntelligentPad\usr\images

【注意】 サーボ制御系シミュレーションを行う場合、Images ファイルを格納しなければエラーになります。

「使用法」

1. パラメータの設定

PID補償器の場合、「補償器」アイコンと「パラメータ設定」アイコンをクリックし、ジューグラフィックの限界感度法にてパラメータを設定します。

ジューグラフィックの限界感度法

PID補償器をP動作とし ($T_i = \infty$ [実際は 10000 位], $T_d = 0$)、持続振動が始まるまで K_p を (本自動制御系 CAI システムの場合は「1~0.1~0.01 刻み」) と徐々に増減させ、持続振動の時 (安定限界) のゲイン (K_c) と周期 (P_c) の値より各パラメータを求めます。

本自動制御系 CAI システムでは各動作のパラメータが自動的に決定されます。

なお、目的の応答を得たい場合は、各動作のパラメータを微調整してみてください。特に、 K_p の値を変化させるだけで最適な応答を得ることが出来ます。

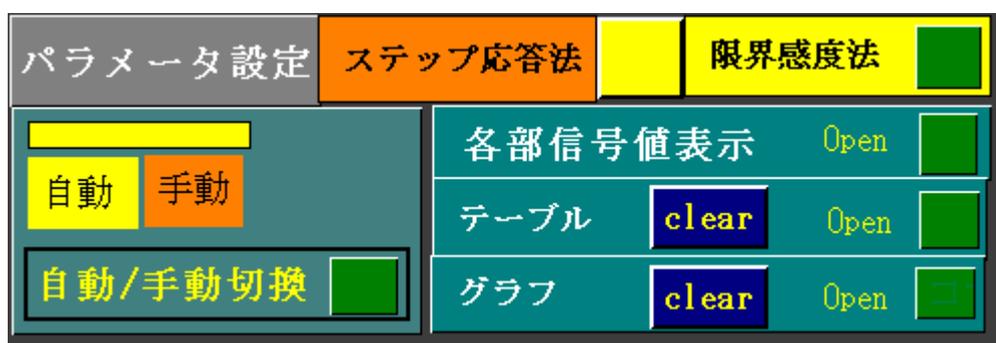


図1. パラメータ設定法切り替え



図2. 負荷設定

システム右下の「パラメータ設定」(上図)にて「限界感度法のボタン(緑色)」を押す。



図3. パラメータ設定パッド

1. 右端[自動/手動]切り替えボタンは、自動（黄色）にセットする。
2. 負荷を最大の「1」に設定します。
3. パラメータ設定パッド下部の[パラメータ][グラフ][indicator]を開きます。そして、PID自動制御系 CAI システムのプロセス制御系[液面]または[温度]シミュレーションを開きます。

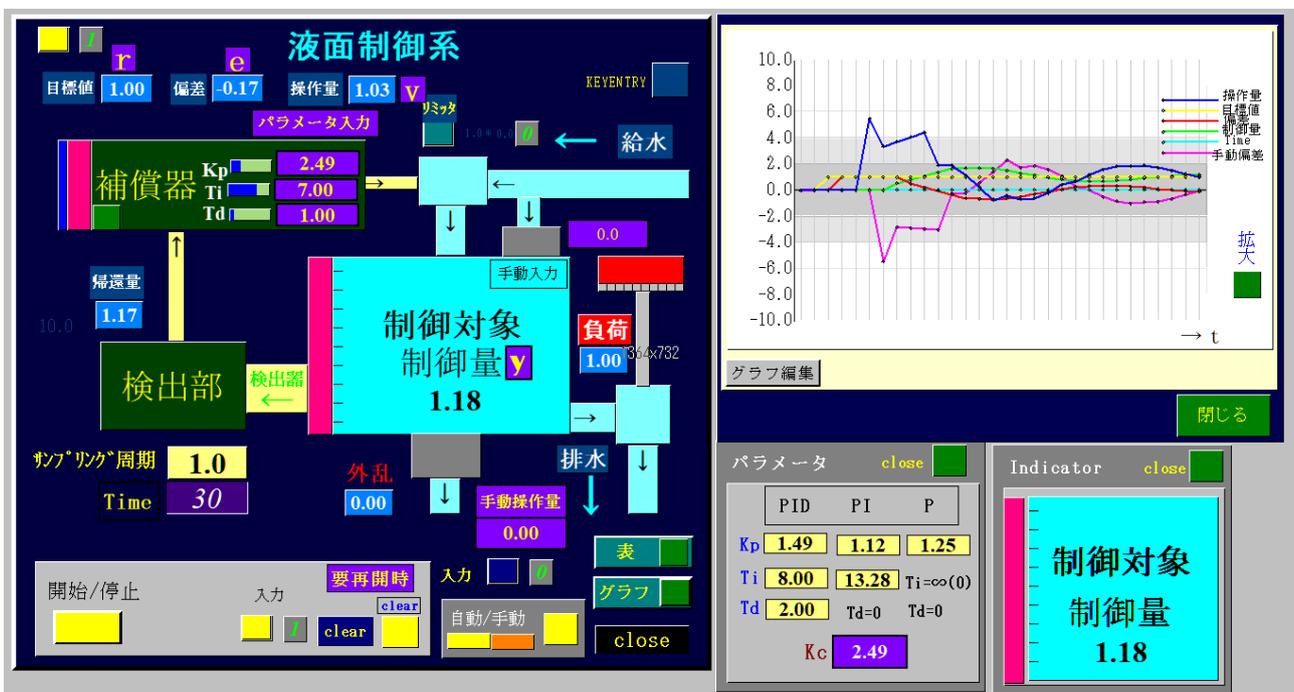


図4, ジーグラ. ニコルスの限界感度法準備画面 (メインボードは閉じてアイコン化しております)

4. 次に下記の「補償器」パッドに「Ti = $\infty \approx 10000$ 」および「Td」にゼロを入力します。



図5. 「補償器」パッド



図6. K_c (比例ゲイン) 入力パッド

5. パラメータ入力パッドにおいて、「 K_c (紫枠)」の値を「1刻み」で増加させてゆき、そのつど「開始/停止」ボタンと入力ボタンをクリックしてパラメータ設定のための応答を調べます。再開時には必ず[クリア]ボタンを押して「青」の状態から始めて下さい。

6. 制御量 (下図、グラフ波形参照) が持続振動の状態になったとき「 K_c 」の値を「0.1~0.01刻み」に増減して再度安定限界を求めます。

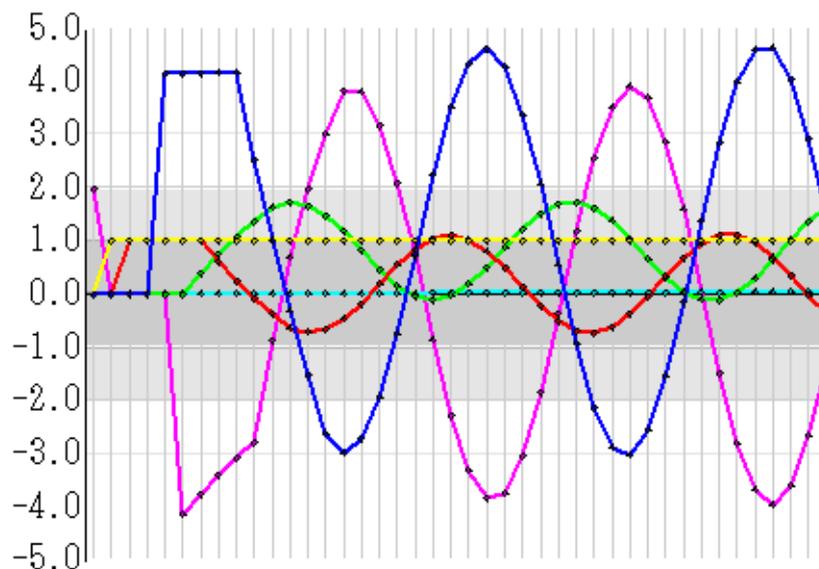


図7. 持続振動状態

6. PID動作のパラメータは「 K_p 」「 T_i 」「 T_d 」の各値、PI動作は「 K_p 」「 T_i 」の各値およびP動作は「 K_p 」の値が各動作におけるパラメータになります。

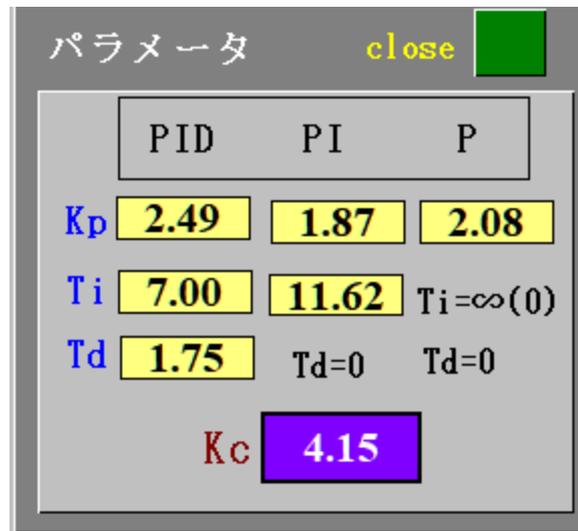


図8. 自動的に決定された各動作のパラメータ (黄枠)

このように本自動制御系 CAI システムでは、パラメータは自動的に決定されます。

決定された、PID、PI、P 動作の各パラメータを、各動作に対応した補償器パッドのパラメータ入力スロット (Kp, Ti, Td) に設定します。

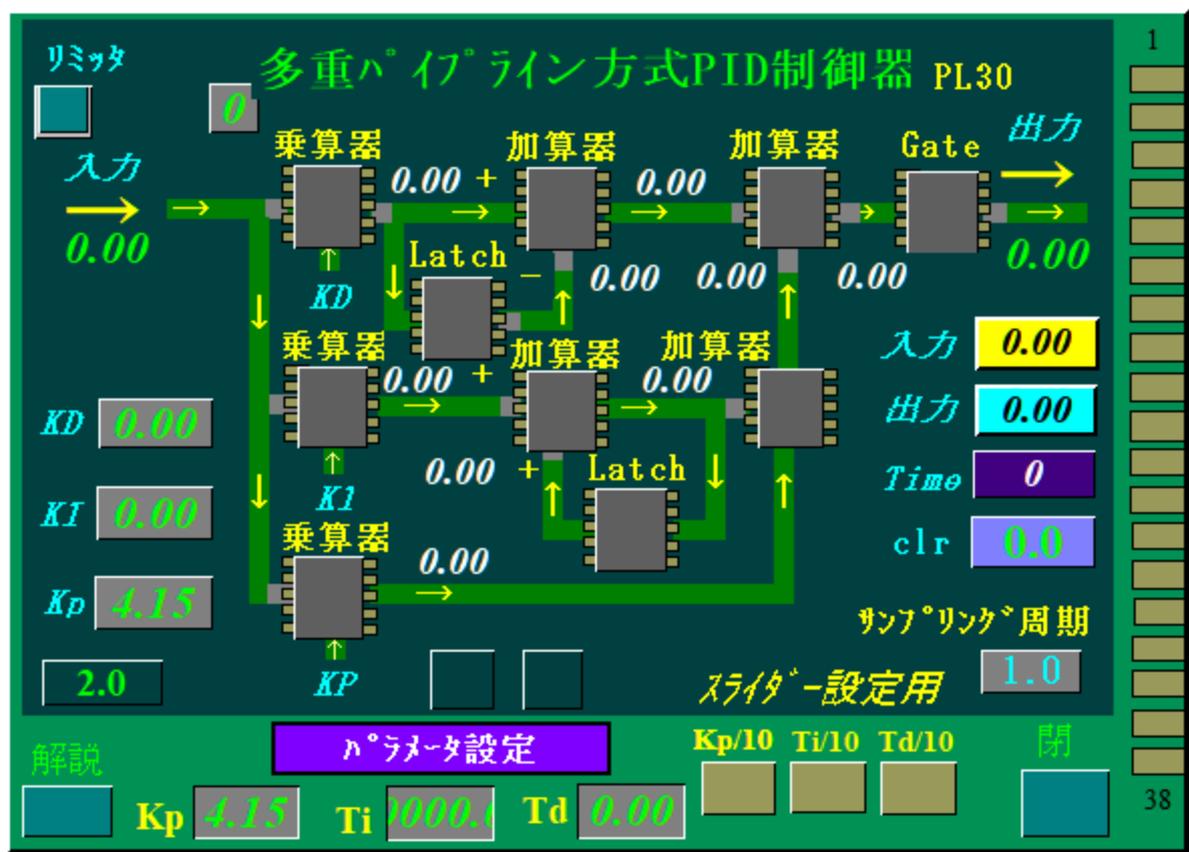


図9. 補償器 (多重パイプライン方式PID制御器) パッド

7. 各動作のパラメータを補償器パッドの「パラメータ設定」に入力します。

なお、本自動制御系 CAI システムでは初期値として、適当なパラメータを設定してありますので「開始/停止」ボタンとステップ入力[1]をクリックしますと、シミュレーションが即座に実行できます。

なお、オーバーシュートを、できるだけ少なくしたい場合は、 K_p を小さめにしてみてください。その反面、応答が遅くなります。

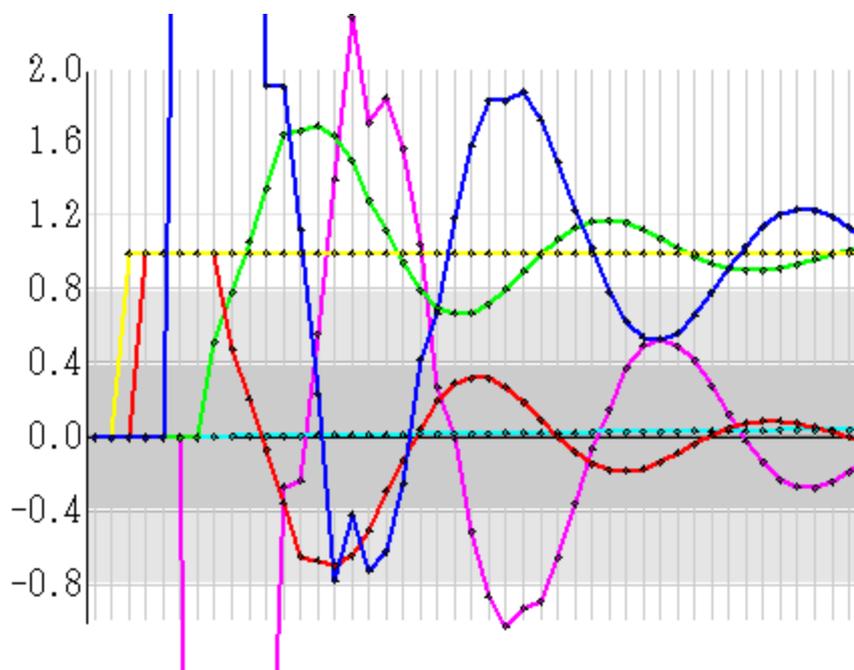


図10. 「PID 動作」自動設定されたパラメータにてシミュレーション「制御量（緑色）」の波形に注目。

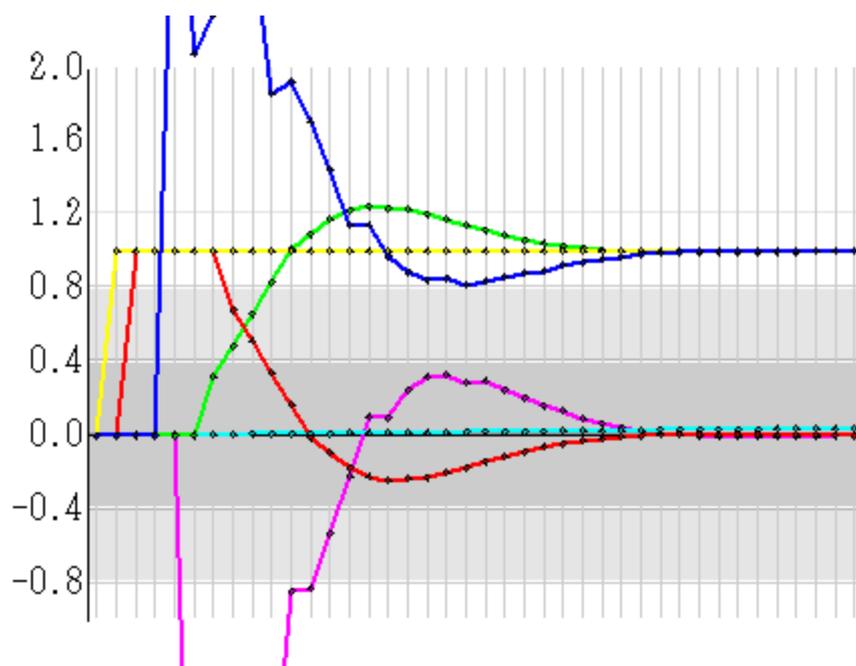
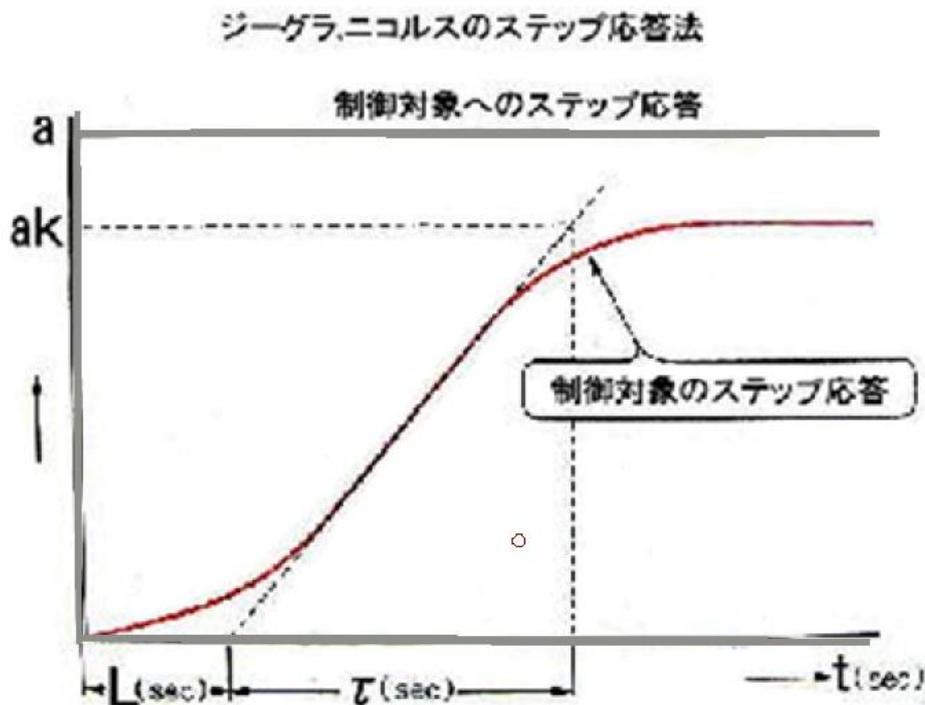


図11. 「PID 動作」 K_p を小さめの $K_p=1.5$ にしたシミュレーション結果

ジューグラ・ニコルスのステップ応答法

PID制御を行なう場合は、最適なパラメータを設定しなければ、よい応答（制御量）は期待できないどころか、制御対象や制御系全体の破損など危険な場合もあります。ここでは、最もポピュラーなパラメータ設定法であるジューグラ・ニコルスのステップ応答法でパラメータを設定します。



a_k は a の 63.2% の値

図 1 2. ジューグラ・ニコルスのステップ応答法 0.

PID制御	$K_p = 1.2T / K \cdot L$	$T_i = 2L$	$T_d = 0.5L$
PI制御	$K_p = 0.9T / K \cdot L$	$T_i = 3.3L$	$T_d = 0$
P制御	$K_p = T / k \cdot L$	$T_i = \infty$	$T_d = 0$

表 1. ジューグラ、ニコルスによる最適調整の係数（振幅減衰率 $1/4 = 25\%$ ダンピング）

このように、ジューグラ・ニコルスのPIDパラメータ設定法（ステップ応答法）では、制御対象（例では2次遅れ要素）を「むだ時間 + 1次遅れ」で近似します。

また、デジタル制御の場合では、演算処理にかかる時間またはサンプリング周期を制御対象の「むだ時間」の一部とみなし処理します。本システムの場合は、インテリジェントパッドの仕様上1サンプリングが1秒ですので、3サンプリング（3秒）で計算します。

1) . 右端[自動/手動]切り替えボタンは、手動（橙色）「ステップ応答法」にセットする。



図13. パラメータ設定法切り替え（橙色）



図14. 負荷は最大値

2) . 負荷を最大の「1」に設定します。

3) . 自動制御系 CAI システムのプロセス制御系[液面]または[温度]制御を開きます。

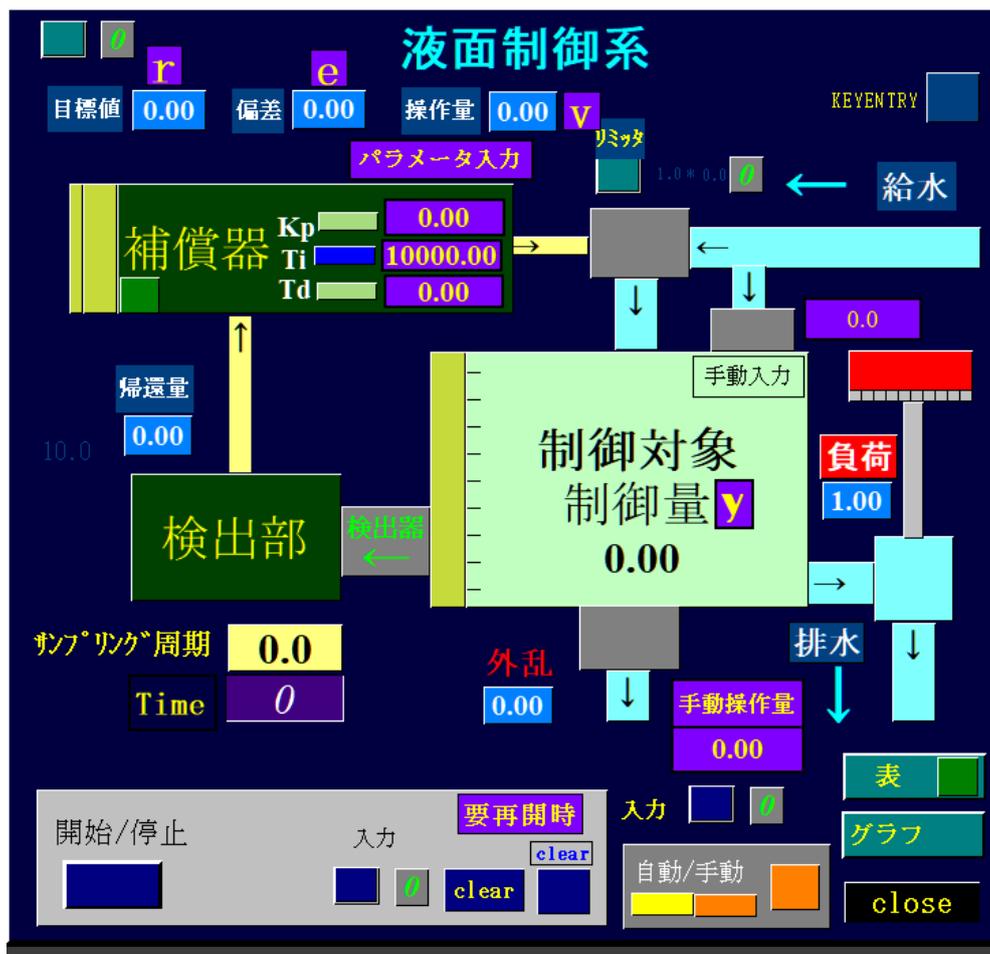


図15. 液面制御シミュレーション

4) . 手動ですので、「補償器」の出力を0にします。

「補償器」パッドに「 $K_p = 0$ 、 $T_i = \infty \approx 10000$ 」および「 T_d 」にゼロを入力します。



図16. 「補償器」パッド



図17. コントロールパッド



図18. 手動ステップ入力

5) . コントロールパッドの「開始/停止」ボタンおよび手動側（右図）の「ステップ入力」ボタンをクリックすると、ステップ応答が記録されます。

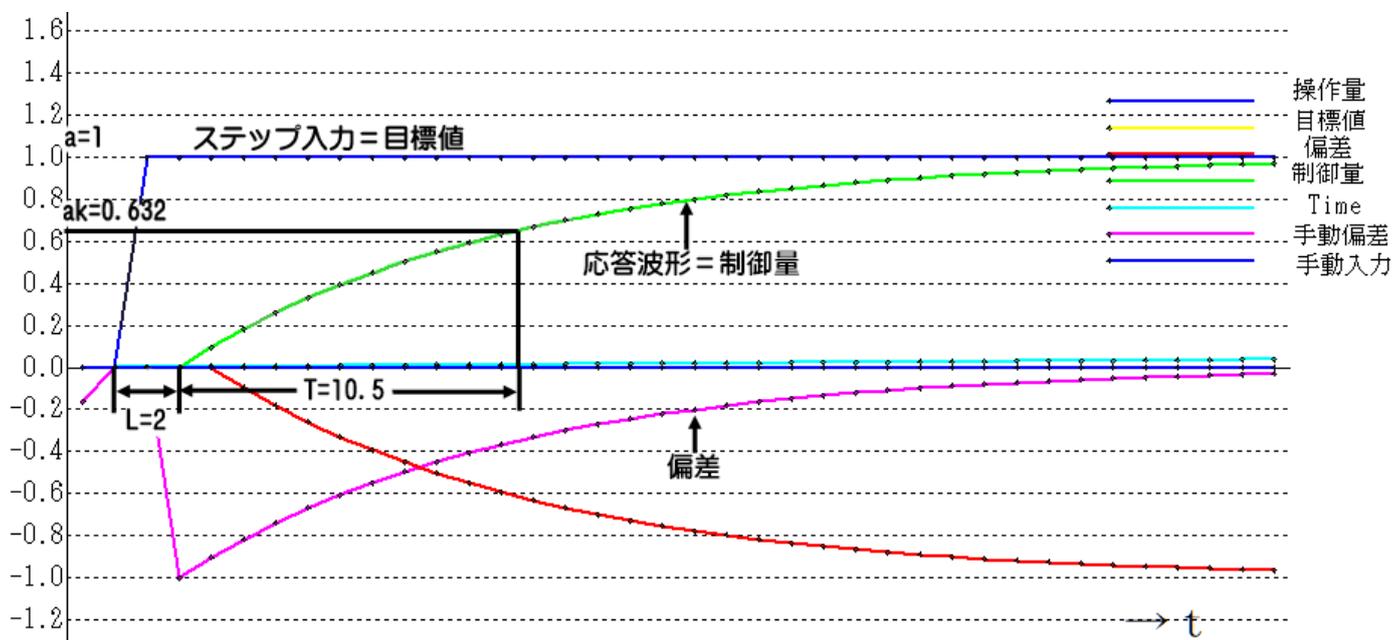


図19. ジーグラ.ニコルスのステップ応答法によるグラフ

この結果、図12. ジーグラ.ニコルスのステップ応答法より、 $L = 2$ 、 $T = 10.5$ 、 $a = 1$ 、 $a_k = 0.632$ が求まります。従ってゲインは、 $k = a_k / a = 0.632$ になります。

P I D制御	$K_p = 1.2T / K \cdot L$	$T_i = 2L$	$T_d = 0.5L$
P I 制御	$K_p = 0.9T / K \cdot L$	$T_i = 3.3L$	$T_d = 0$
P制御	$K_p = T / k \cdot L$	$T_i = \infty$	$T_d = 0$

表1。ジューラ、ニコルスによる最適調整の係数（振幅減衰率 1/4）

表1および図19よりジューラ、ニコルスによる最適調整の係数（振幅減衰率 1/4）の値は、補償器の演算時間を3クロック（ $L=3$ ）として求めます。

(1). P I D制御 $K_p = 1.2T / k(L+L_2) = 12.6 / 0.632(2+3) = 12.6 / 3.16 = 4.06$

$T_i = 2(L+L_2) = 2(2+3) = 10$

$T_d = 0.5(L+L_2) = 0.5(2+3) = 2.5$

(2). P I 制御 $K_p = 0.9T / k(L+L_2) = 9.45 / 0.632(2+3) = 9.45 / 3.16 = 2.99$

$T_i = 3.3(L+L_2) = 3.3(2+3) = 16.5$

$T_d = 0$

(3). P制御 $K_p = T / k(L+L_2) = 10.5 / 0.632(2+3) = 10.5 / 3.16 = 3.32$

$T_i = \infty$

$T_d = 0$

なお $T_i = \infty$ は $T_i = 10000$ として設定します。

6). 再度記録する場合は、すべてのデータをクリアパッドでクリア（操作量および制御量もクリア）した後、ステップ応答を行って下さい。

IntelligentPad



現在表示されているデータと同一のデータが既に存在します。

OK

× 「注意」 Clear ボタンが黄色になった場合は、再度クリックして青色にします。

Clear ボタンを押さないで動作させると左図のようなメッセージが表示されますが、[OK] ボタンを押し続けて停止してください。

2. 「プロセス系シミュレーション」液面および温度制御

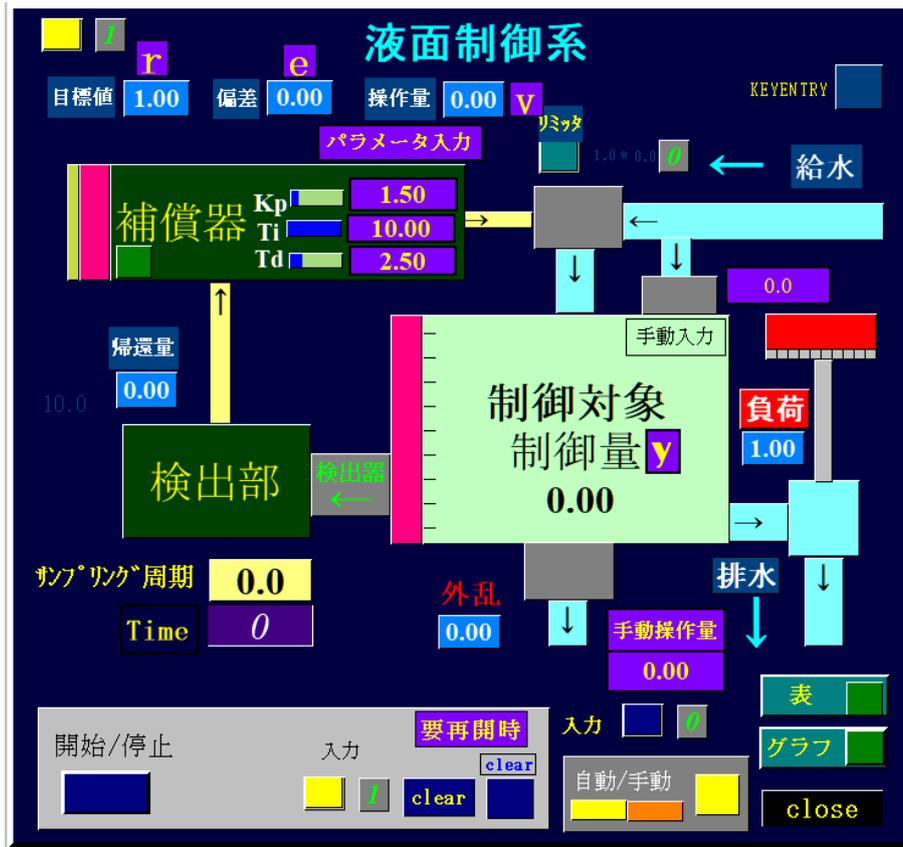


図 2 0. 液面制御系

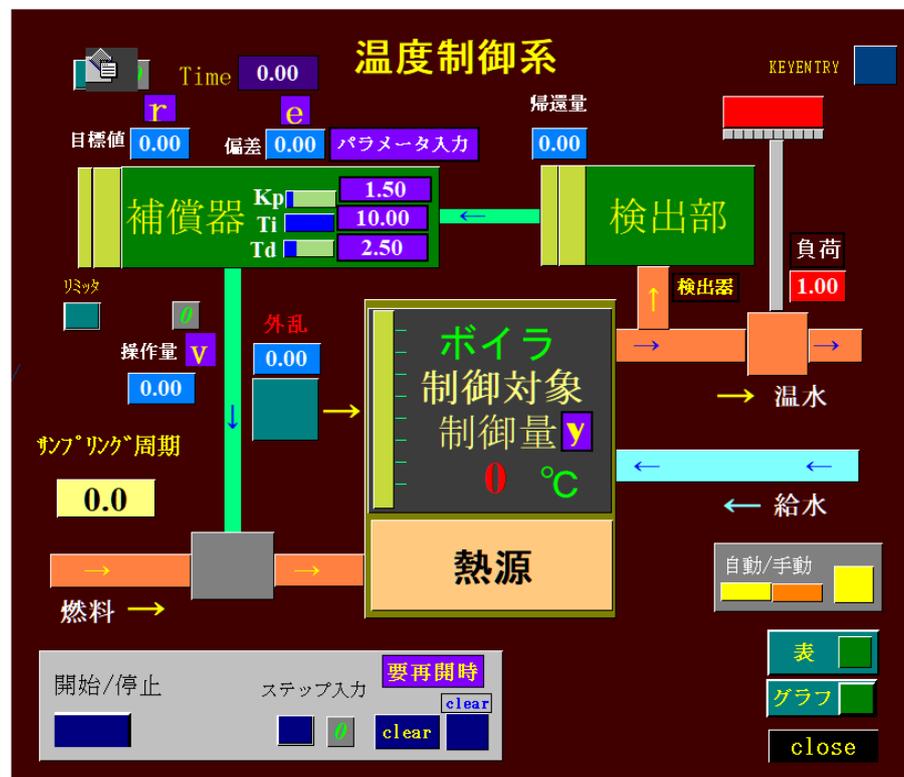


図 2 1. 温度制御系

自動制御系 CAI システム下部の「プロセス系シミュレーション」の「液面」制御패드アイコンまたは「温度」制御패드アイコンをクリックすると、液面制御や温度制御のシミュレーションを行うことができます。



図 2.2. 自動/手動切り替え패드

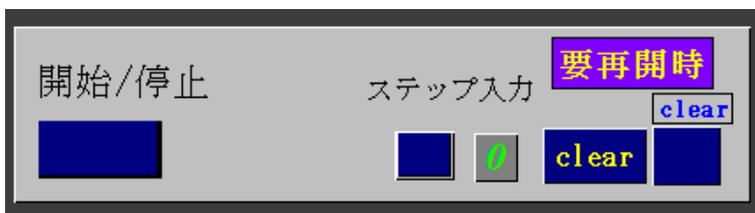


図 2.3. コントロール패드

1. [自動][手動]切り替えボタンを自動（黄色）に設定します。
2. 「開始/停止」ボタンをクリックし、ステップ入力を 1 にすると、シミュレーションが開始されます。シミュレーション結果は、表またはグラフに出力されます。
3. 再度「開始/停止」ボタンをクリックするとシミュレーションは停止します。

◎ 「リミッタ」ボタンをクリックし「黄色」の状態にしますと、マイナス(-)の操作量が出力されないので、より実際に近い状態でシミュレーションを行うことができます。

◎. 自動制御系 CAI システム右下の「各部信号値表示」アイコンをクリックしますと、各要素の信号を横スライダーで確かめることができます。目標値を変える場合は、数値パッドに直接、値を入力するか、スライダーの適当な位置をクリックします。

◎. 「制御対象」패드では無駄時間、感度を自由に可変できますので、適当に変えてシミュレーションを行うことができます。その場合「パラメータ」設定패드にて再度、最適なパラメータを決定しなければなりません。また、プログラムを変えることにより、高次遅れ要素など様々な要素のシミュレーションも可能です。

(補足) プロセス系「温度制御のシミュレーション」

本自動制御系 CAI システムでは「目標値*100」が制御量となるようにしてあります。

負荷に設けてあるスライダーの値を変化させますと、制御対象の伝達関数が変わり応答も変化します。

再度「開始/停止」ボタンをクリックしますと、サンプリング周期が「0」になり温度制御系のフィードバック自動制御のシミュレーションは停止します。

3. 「サーボ系シミュレーション」 角度制御

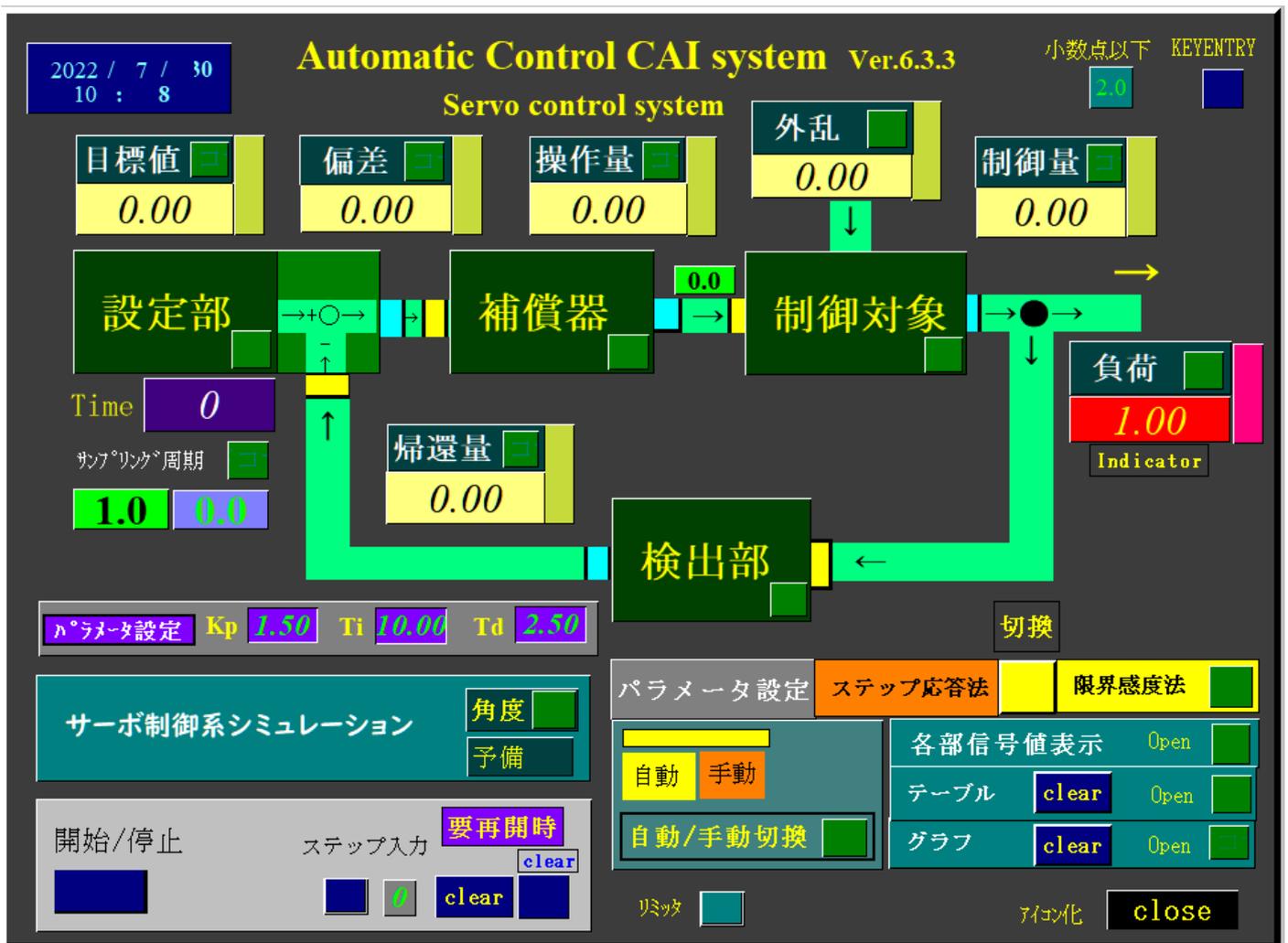


図 2 6. サーボ制御系のシミュレーション

(1) 「サーボ系シミュレーション」パッド上の「角度」ボタン (アイコン) をダブルクリックしますと「角度制御系」パッドが開きます。

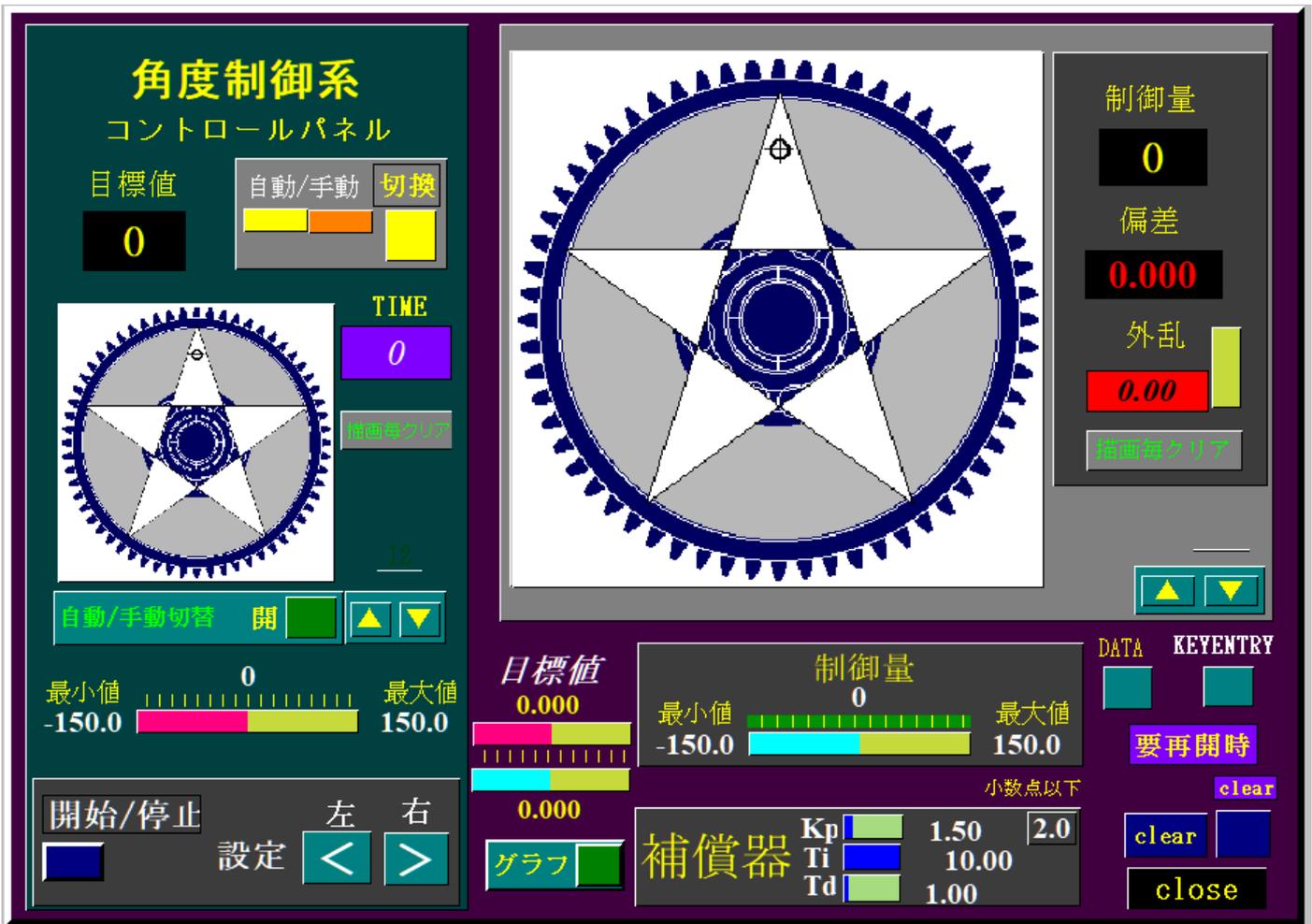


図 27. 角度制御パッド



図 28. コントロールパネル

(2) コントロールパネル上の設定ボタン、左[<]、右[>]ボタンをクリックして目標値を設定します。目標値は15刻みで設定できます。

(3) 「停止/開始」ボタンをクリックしますと、ボタンが青色から黄色に切り換わり角度制御を開始します。制御量を目標値に追従するように制御します。「制御対象」パネル上の偏差パッドの値が0になった時が目標値と制御量が完全に一致したときです。

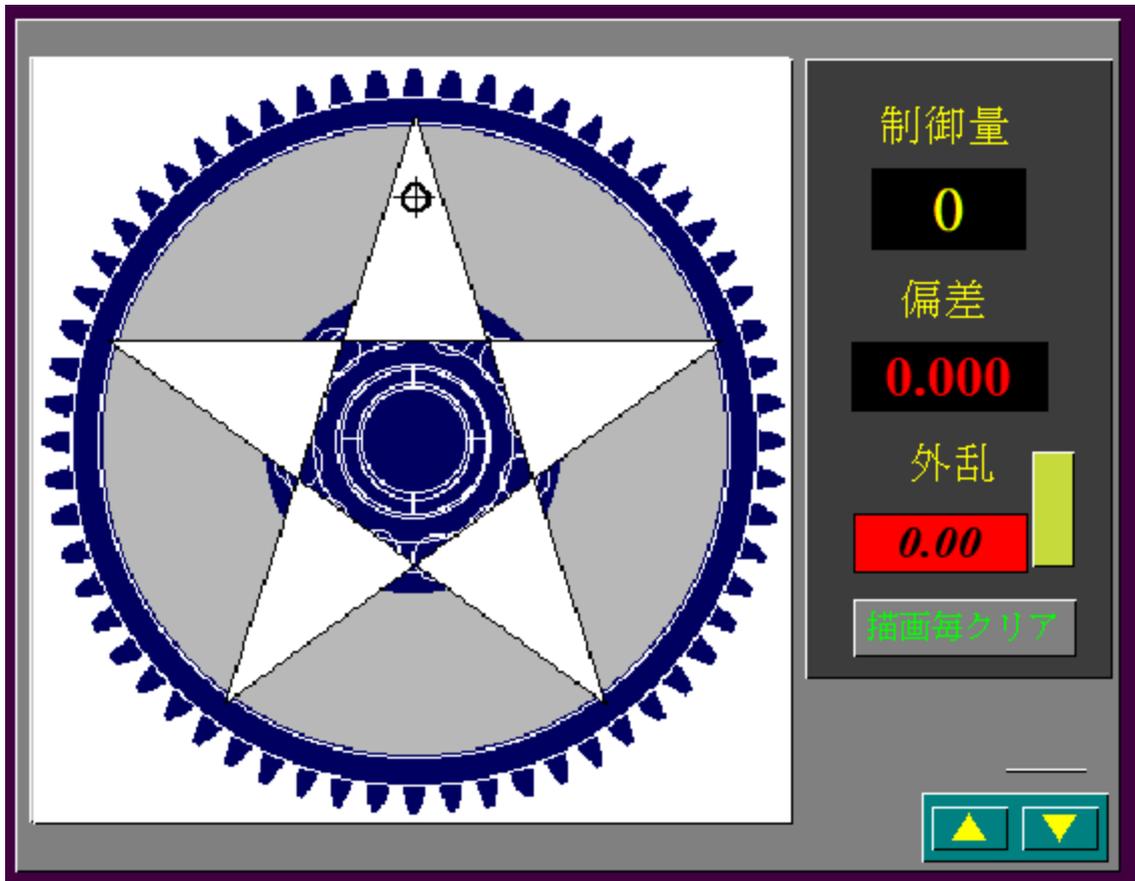


図 29. 制御対象パネル

	1	2	3	4	5	6
	v	r	e	y	time	error-M
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0
3	0.0000	2.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0
4	0.0000	5.0000	2.0000	0.0000	0.0030	0
5	0.0000	8.0000	5.0000	0.0000	0.0040	0
6	11.0000	8.0000	8.0000	0.0000	0.0050	0
7	20.3000	8.0000	8.0000	0.0000	0.0080	0

図 30. 角度制御のシミュレーション

4. 手動制御



図30. 自動（黄色）／手動（橙色）切り替え

(1) プロセス系の手動制御

1. 自動（黄色）／手動（橙色）切り替えパッドで、手動（橙色）に切り替えます。
2. 「補償器」パッドに「 $K_p = 0$ 、 $T_i = \infty \approx 10000$ 」および「 T_d 」にゼロを入力して「補償器」の出力を0にします。



図31. 手動操作量の入力

3. 手動操作量は、紫色の数値パッドに入力します。
4. 次に「開始/停止」ボタンをクリックしますと手動制御を行うことができます。
5. 「目標値 = 制御量」になれば完璧です。「外乱」あるいは「負荷」を適当に変化させながら手動制御のシミュレーションを行ってください。

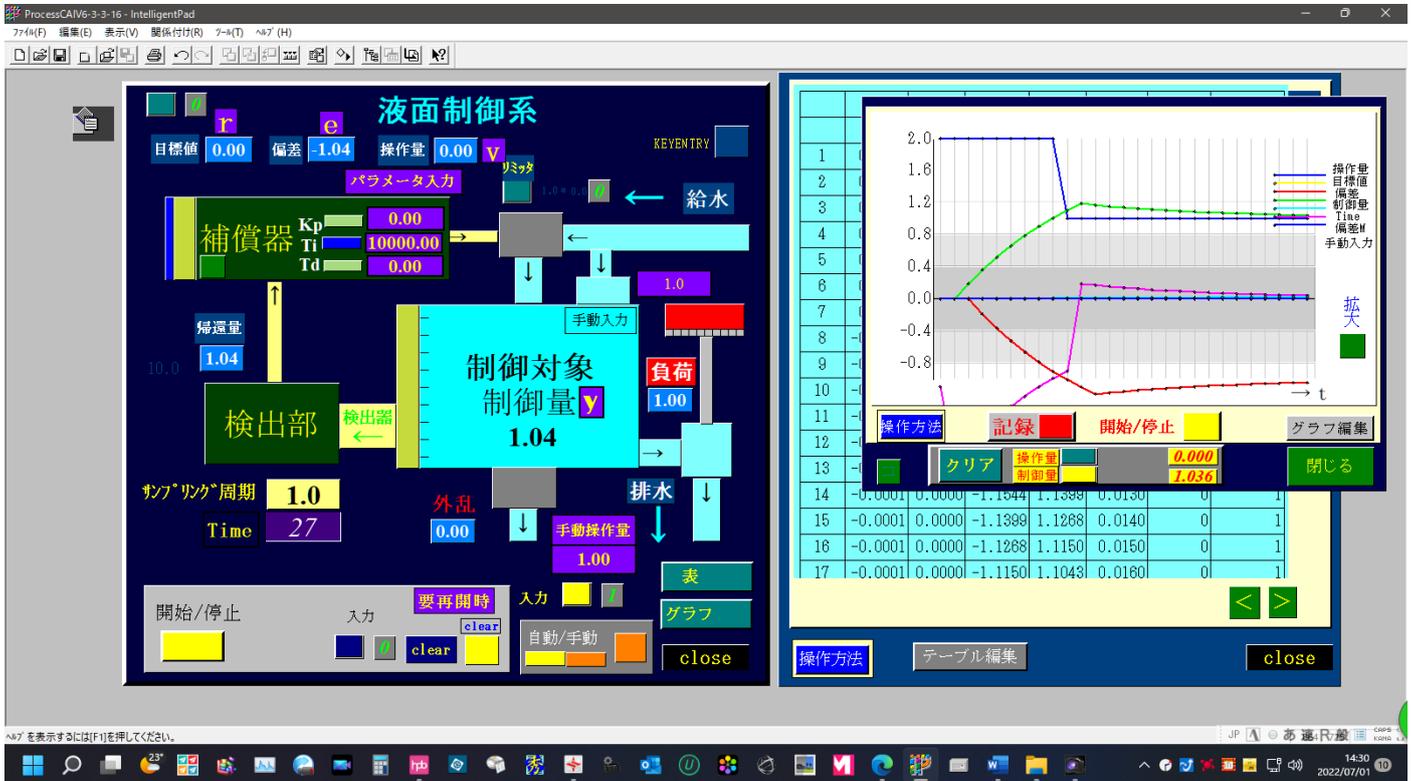


図 3 2. 手動制御の実行例

(2) サーボ系の手動制御

1) 自動から手動へ



図 3 3. 目標値入力パネル

「角度制御系」パッドの目標値入力パネル上の「自動/手動切換」のボタン型アイコンをクリックしますと、「自動/手動切換」パッドが開きます。

手動操作量の値を自動操作量と同じ値にします。このとき ERROR の値が 0(ゼロ)になります。

その状態で、切換パッドの黄色のボタンをクリックしますと、黄色(自動)から橙色(手動)に切り換わり手動制御モードになります。

手動操作量のスライダーを適当に可変させますと、ギアの角度が変化します。

2) 手動から自動へ

「自動/手動切換」パッドにおいて、自動操作量の値を手動操作量と同じ値になるように、コントロールパネル上の「設定」パッドの「右」または「左」ボタンをクリックします。

ERROR が 0 になったら、切換パッドの橙色のボタンをクリックします。橙色(手動)から黄色(自動)に切り換わり自動制御モードになります。



図 3 4. サーボ系のコントロールパネル

5. グラフの作成



図35. [テーブル][グラフ]パッド

1) . 自動制御系 CAI システム右下の[テーブル][グラフ]パッド上の緑色アイコンをクリックすると、[テーブル][グラフ]パッドが開きます。



図36. グラフ作成パッド

2) . クリアボタンをクリックした後、記録ボタンをクリックします。このとき赤色に切り替わり Table (表) と同時にグラフが作成されます。

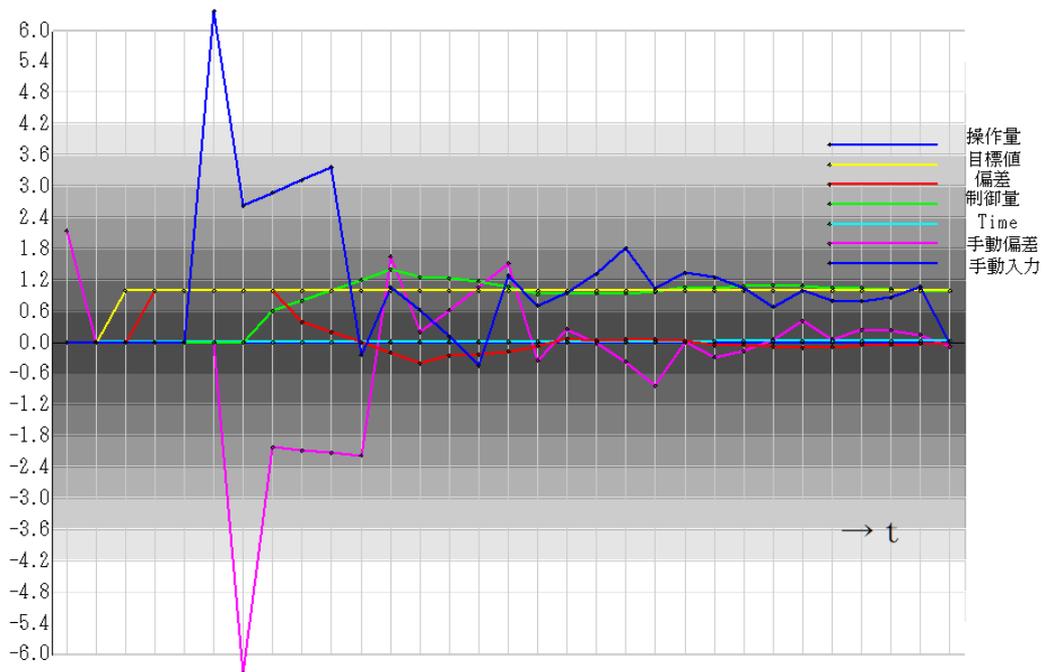


図36. 作成されたグラフ

6. Table の作成

	1	2	3	4	5
	v	r	e	y	time
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010
3	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0020
4	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0030
5	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0040
6	6.3750	1.0000	1.0000	0.0000	0.0050
7	2.6250	1.0000	1.0000	0.0000	0.0060
8	2.8750	1.0000	1.0000	0.6069	0.0070
9	3.1250	1.0000	0.3931	0.7991	0.0080
10	3.3750	1.0000	0.2009	0.9969	0.0090
11	-0.2440	1.0000	0.0031	1.1997	0.0100
12	1.0563	1.0000	-0.1997	1.4070	0.0110
13	0.6147	1.0000	-0.4070	1.2501	0.0120
14	0.1138	1.0000	-0.2501	1.2319	0.0130
15	-0.4467	1.0000	-0.2319	1.1734	0.0140
16	1.2811	1.0000	-0.1734	1.0728	0.0150
17	0.7070	1.0000	-0.0728	0.9283	0.0160

図 3 7. 作成された Table (表)

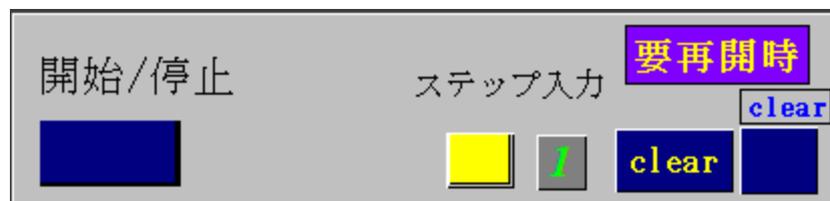


図 3 8. コントロールパネル

- 1) . コントロールパネルの[開始/停止]ボタンをクリックすると、各部の信号がテーブルパッドに記録されます。
- 2) . 自動制御系 CAI システム左上のステップボタンのクリックなどにより目標値を変化させると

それに対応した応答が記録されます。

- 3) . グラフボタンをクリックすると、テーブルパッドのデータがグラフに表示されます。
リアルタイムで表示させることができますが、多少時間がかかります。
- 4) . 再度記録する場合は、すべてのデータをコントロールパネルの[クリアパッド]でクリア（操作量および制御量もクリア）した後、再シミュレーションを行って下さい。

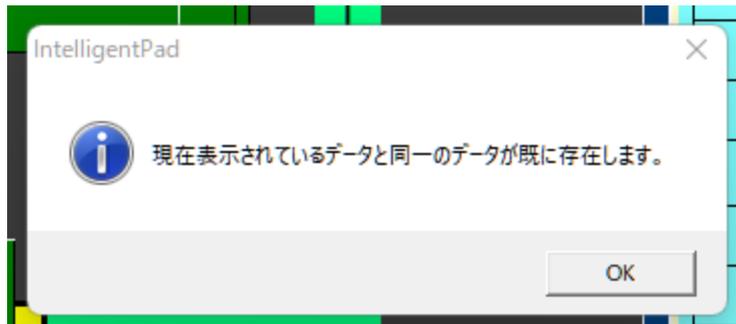


図 3 9 . データ重複メッセージ

[クリアパッド]でクリアしなかった場合は、図 3 9 のデータ重複メッセージが表示されます。この場合も [OK] ボタンを続けてクリックして下さい。

- 5) . グラフ機能は、プロセス系パッド、サーボ系パッドにも設けております。
- 6) . グラフを印刷する場合は、グラフパッドを [SHIFT] + クリック で選択してから印刷を実行して下さい。
- 7) . グラフを作成しない場合は、記録ボタンは「青」の状態 でシミュレーションを行って下さい。

「Ver4.3 からの改善、修正点」

1. プロセス制御系とサーボ制御系シミュレーションを分離しました。
2. ジーグラ.ニコルスのステップ応答法によるパラメータ設定パッドを追加しました。
3. PID 自動制御関連パッドのデザインを一新しました。

「Ver. 2. 4、Ver4. 0、Ver4. 1 からの改善、修正点」

1. 補償器は多重パイプライン方式制御器を採用しました。

2. グラフ機能を設けました。
3. サーボ系の制御対象を航空機の姿勢制御からサーボモータの角度制御に変更しました。
4. 各、パッドの配置、配色などを改善しました。

「Windows8.1/10でIntelligentPadのヘルプ表示方法」

Intelligent Padのような、Windows ベースのプログラムで、ヘルプを開こうとすると「機能は含まれていません」または「ヘルプはサポートされていません」とエラーが表示されます。

「解決策」

■Windows 8.1の場合

x86 ベース バージョンの「WinHlp32.exe」あるいは、x64 ベースのバージョンの「WinHlp32.exe」のインストールにて、Intelligent Padのヘルプ表示が可能になります。

■Windows10の場合

「Windows 10用 WinHlp32.exe バッチファイル」の利用により IntelligentPad のヘルプ表示が可能になります。

【ファイル名】

winhlp32_install_windows10_ja-jp_x86x64_200.zip を利用する。

■ [Windows10/11用 WinHlp32.exe バッチファイルの場所](#)

2022年7月1日

石川 栄一