ユニバーサルペルチェドライバ
PLP-300W14A
テクニカルマニュアル

PID制御パラメータの設定

（Rev.2.20）

2017年7月24日
合同会社 クラッグ電子

KURAG
ELECTRONICS

目次

１．注意事項　・・・・・・・・・・・・・・・　３ページ

２．使用するソフトウェア　・・・・・・・・・・・・・・・　４ページ

３．ＰＣとの接続　・・・・・・・・・・・・・・・　５ページ

４．ＰＩＤ制御の基本　・・・・・・・・・・・・・・・　６ページ

５．最大電流・最大電圧の設定　・・・・・・・・・・・・・・・　７ページ

６．ＰＩＤ制御パラメータの設定方法　・・・・・・・・・・・・・・・　９ページ

７．微分制御の効果について　・・・・・・・・・・・・・・・　１９ページ

変更履歴　・・・・・・・・・・・・・・・　２０ページ

１．注意事項

本マニュアルで説明しているPID制御パラメータ設定方法は、「限界感度法」と呼ばれるものです。
この方法は、制御ゲインを徐々に上げながら実験を行い、意図的に制御の振動状態を作りだし、そこから最適なパラメータを求めるものです。
よって、実際の動作温度が目標として設定した温度を超える（上回るまたは下回る）場合が発生します。
もし、制御対象物の許容温度範囲を超える可能性がある場合は、この方法は実施しないで下さい。

２．使用するソフトウェア

PID制御パラメータの設定を行うためには、以下のソフトウェアをＰＣに
インストールする必要があります。

① 制御用ソフト　"PLC Controller.exe"
PLP-300W14Aをパソコンから制御するソフトウェアです。

② 設定用ソフト　"PLP-300W14A Manager.exe"
PLP-300W14Aの各種パラメータを設定、確認するためのソフトウェアです。

これらのソフトウェアのインストール方法は、ソフトウェアのマニュアルを参照して下さい。

【重要】
制御用ソフト"PLC Controller.exe"を用いて、温度応答を観測する際、
温度計測の間隔が１秒間隔のため、それよりも早い応答の制御系の場合は
正しい温度応答が観測できない場合があります。
その場合は、温度応答を別の計測器（温度ロガーなど）で観測してください。

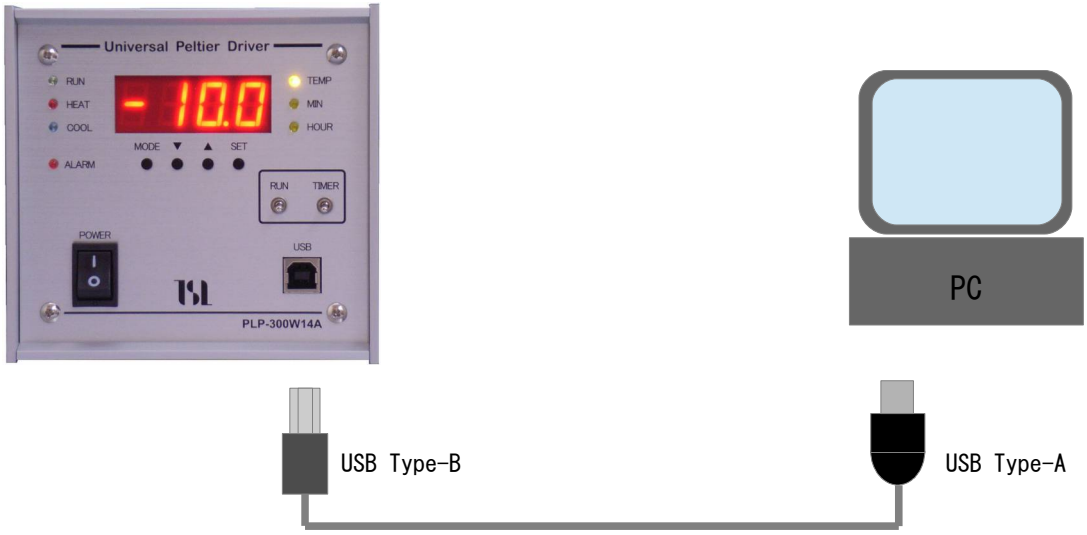
【重要】ソフトウェアの入手方法について
制御用ソフトは、クラッグ電子のWEBサイトからダウンロードできます。
最新版をダウンロードしてご利用ください。
　合同会社クラッグ電子　URL http://kurag.o.oo7.jp/kurag-el/

【おことわり】ソフトウェアの画面について
本マニュアルで使用しているソフトウェアの画面は、旧いバージョンのものを
使用している場合があります。このため、実際のソフトウェアの最新版の画面
と本マニュアルの画面の表示内容、色などが異なる場合がありますのでご了承
ください。

３．ＰＣとの接続

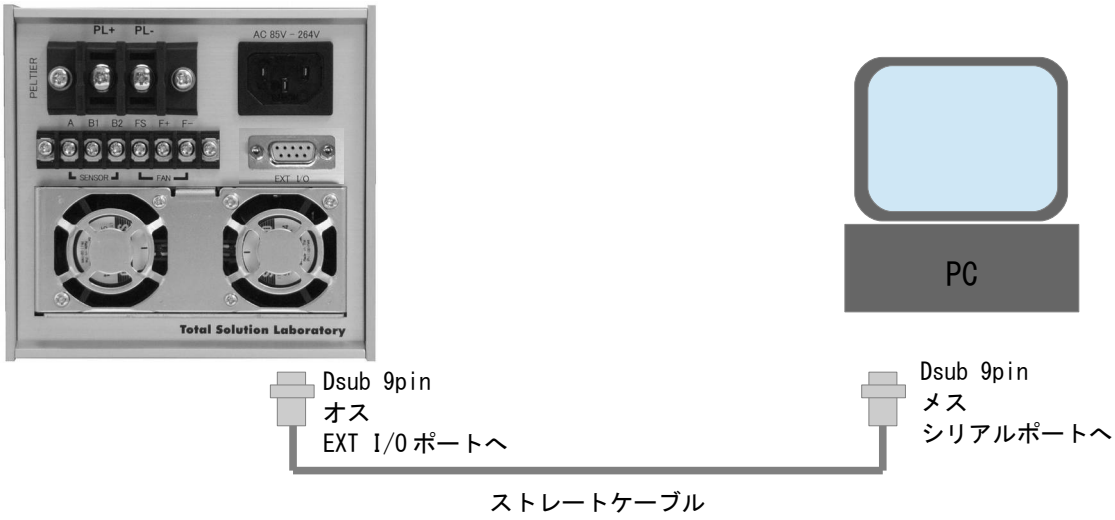
PLP-300W14A と PC を USB ケーブルで接続します。

(*1) USB ケーブルは製品に付属していません。
Type-A～Type-B の USB ケーブルを別途ご用意下さい。
(*2) PLP シリーズの電源を ON してから USB ケーブルを接続してください。
(*3) USB 通信ポートをパソコンと接続して使用するためには、デバイスドライバのインストールが必要です。
PLPシリーズは、FTDI社のUSB-シリアル変換IC FT232Rを搭載しています。
必要な場合は、FTDI社のWEBサイトからデバイスドライバを入手してください。
http://www.ftdichip.com/FTDrivers.htm
※URLが変更される場合があります。
※デバイスドライバのインストールに関する詳細は、テクニカルマニュアル「FTDIデバイスドライバのインストール(モデル共通)」をご覧ください。



RS-232 オプション搭載モデルの場合は、PC のシリアルポートと接続することも出来ます。

(*1) USB と RS-232 両方を接続した場合は、USB が優先されます。



４．PID制御の基本

一般にペルチェ素子を用いた温度制御には、以下の３つの制御方式を組み合わせたものが用いられます。

① 比例制御（P制御; Proportional）
② 積分制御（I制御; Integral）
③ 微分制御（D制御; Differential）

PLP-300W14Aの場合は、比例制御、積分制御、微分制御を組み合わせた「PID制御」を採用しています。

PID制御では、操作量MV（温度を変化させるためのペルチェ素子の駆動量）は、次の式で計算されます。（デジタルPID制御の場合）

$$MV(n) = Kp \times [\triangle T(n) + (\triangle t/Ti) \times \Sigma \triangle T(i) + (Td/\triangle t) \times \{\triangle T(n) - \triangle T(n-1)\}]$$
$$= Kp \times \triangle T(n) + Ki \times \Sigma \triangle T(i) + Kd \times \{\triangle T(n) - \triangle T(n-1)\}$$

MV(n):　操作量(n回目のサンプリング時)
⊿T(n):　温度偏差（目標温度と現在温度の差）
Σ⊿T(i): 温度偏差の累積値
⊿T(n-1): 1回前のサンプリング時の温度偏差
⊿t: 制御周期
Ti: 積分時間
Td: 微分時間
Kp: 比例係数
Ki: 積分係数 = Kp×(⊿t/Ti)
Kd: 微分係数 = Kp×(Td/⊿t)

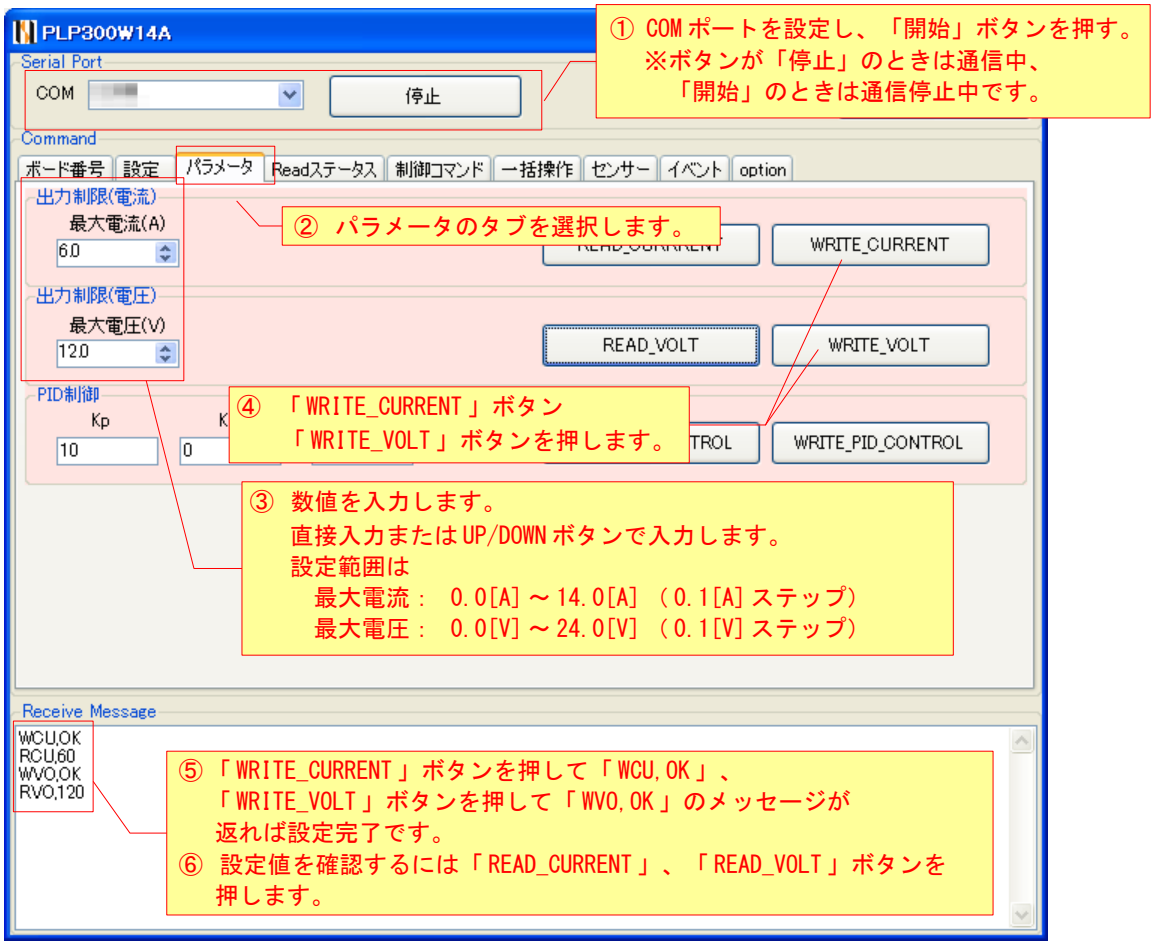
※PLP-300W14AのPID制御パラメータ設定は、Kp、Ki、Kdの数値を入力します。

５．最大電流・最大電圧の設定

PLP-300W14A はペルチェ駆動の最大電流、最大電圧を設定することができます。
PLP-300W14A は設定された最大電圧、最大電流の範囲内で、自動的に定電流動作、定電圧動作、PID 制御動作を組み合わせて動作を行います。

最大電流、最大電圧は以下のように設定します。

- PLP-300W14A の電源の ON し、通信ケーブルを接続して、"PLP300 Manager.exe"を起動して下さい。
- Serial Port のプルダウンメニューで適切な COM ポート番号を選択し、「開始」ボタンを押して、PC と PLP-300W14A を通信状態にしてください。
  「パラメータ」のタブをクリックし、出力制限(電流)の最大電流欄と出力制限(電圧)の最大電圧欄に数値を入力（数値を直接入力または UP/DOWN ボタンを操作して入力）してください。
- 「WRITE_CURRENT」と「WRITE_VOLT」ボタンを押して、Receive Message 欄に"WCU,OK"、"WVO,OK" と表示されれば設定完了です。



【重要】
最大電流、最大電圧の設定値は、使用するペルチェ素子の最大電流、最大電圧の規格値以下に設定してください。

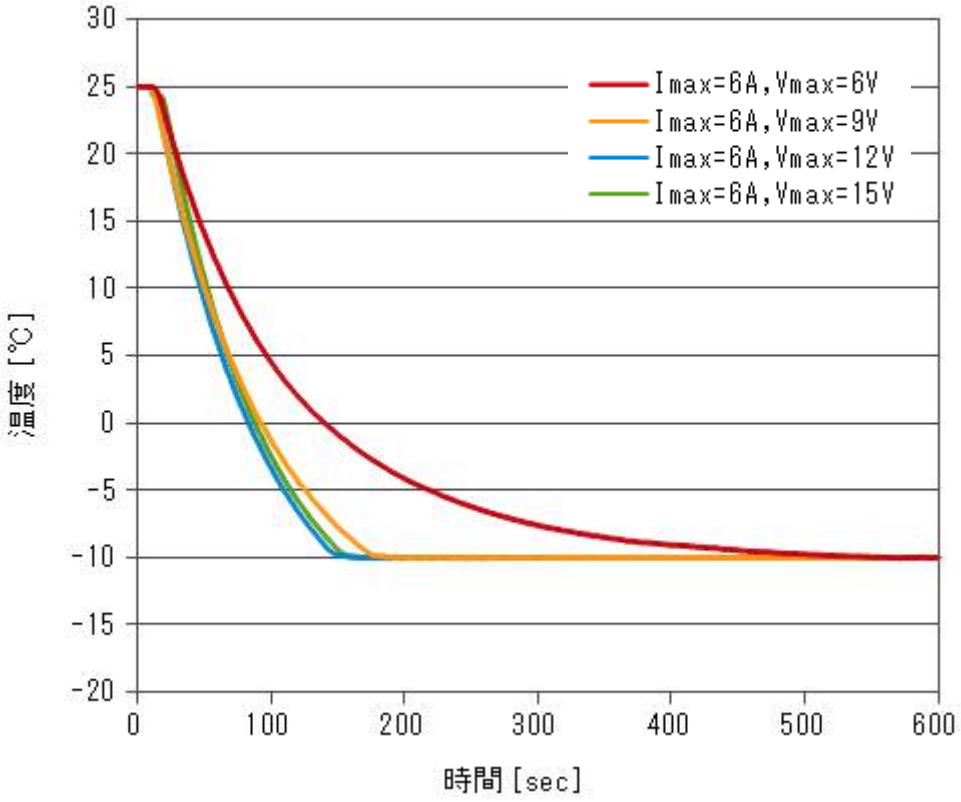
【ヒント】

最大電流、最大電圧の設定値は、必ずしも大きい値を設定すればペルチェ素子の能力が高まるわけではありません。

特に冷却動作を行う場合は、駆動電流、電圧が大きすぎると、ペルチェ素子自体が消費する電力による発熱で冷却能力が低下してしまう場合があります。

通常はペルチェ素子の最大電流、最大電圧の規格値に対して、電力値（電流×電圧）で７０～８０%程度になるように設定した方が、より高い冷却能力が得られます。

以下のグラフは、ペルチェ素子の規格値が 15V/6A のペルチェ素子に対して、25℃から -10℃へ冷却動作させた場合の温度変化の応答を、PLP-300W14A の最大電圧設定値を変えて測定した例です。
この例の場合、最大電圧を 12V に設定した時が最も早く -10℃に到達し、それより電圧を上げても応答は改善されないことがわかります。



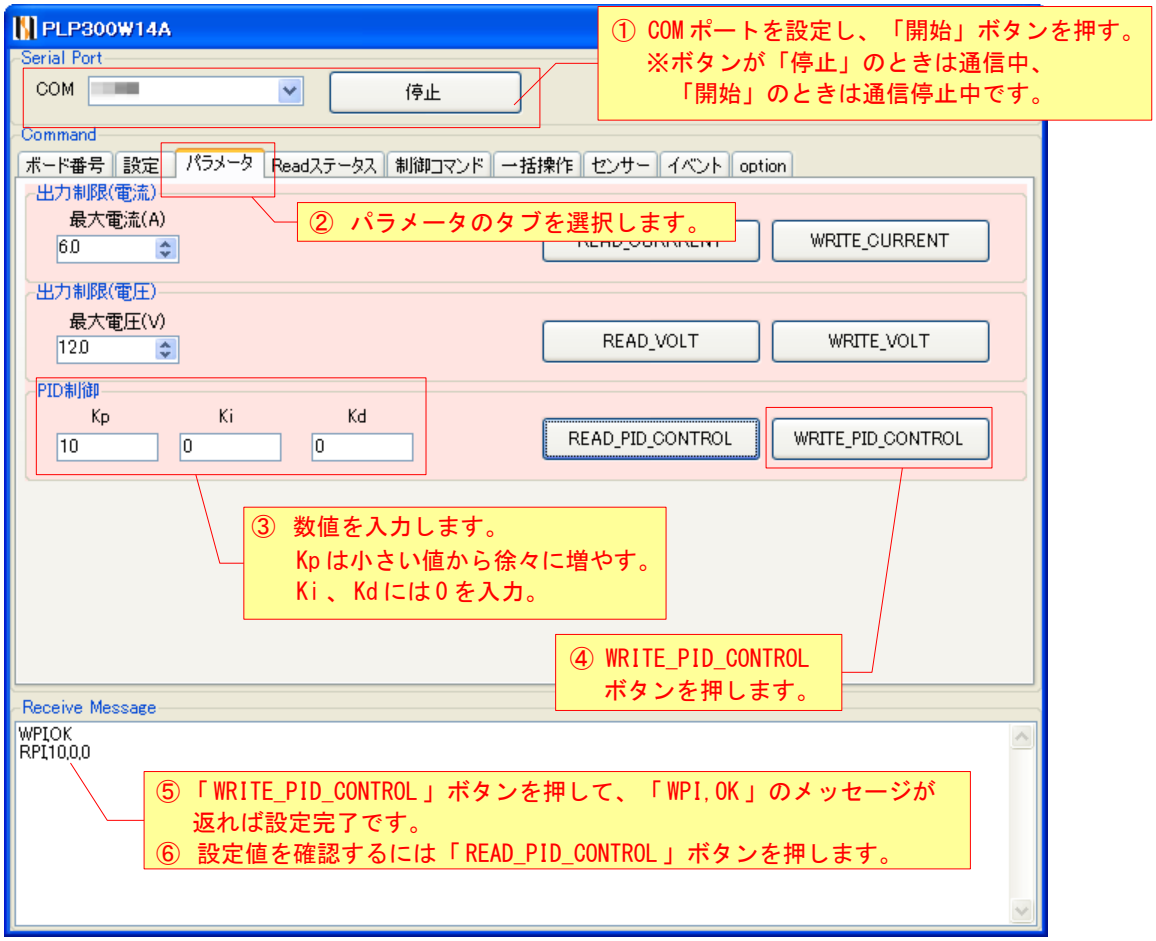
６．PID 制御パラメータの設定方法（限界感度法による設定）

１）限界感度 Ku を求める

まず、Ki=0、Kd=0 に設定し、Kp を徐々に大きくしていきステップ応答（目標値をステップ的に変化させたときの制御温度の応答）を観測します。Kp を大きくしていくと、オーバーシュートが発生するようになり、さらに大きくすると振動状態（目標値を中心として温度が上下する状態が継続）が発生します。振動状態となる最小の Kp を限界感度(Ku)と呼びます。

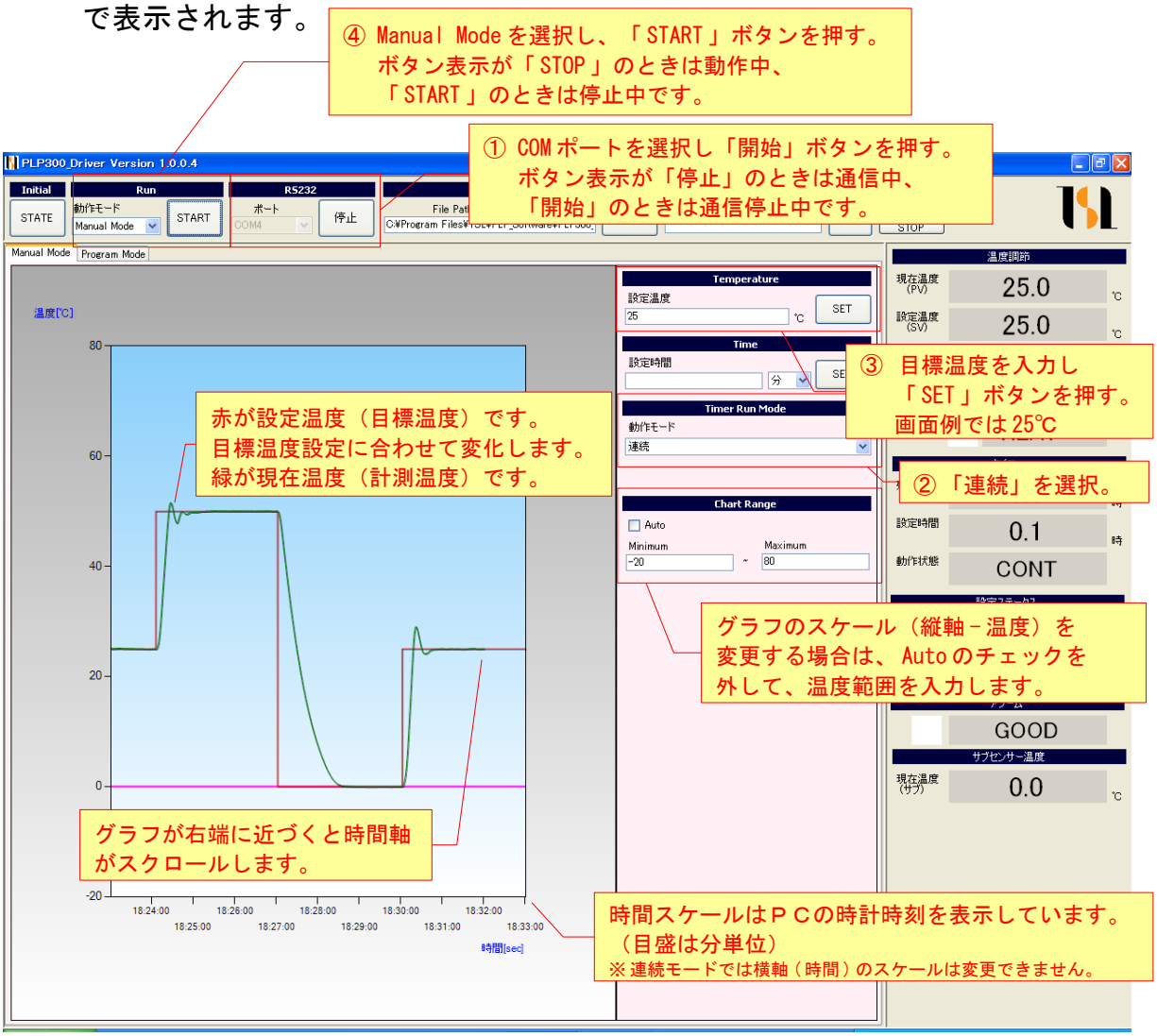
1-1）Kp、Ki、Kd を PLP-300W14A に設定する

・PLP-300W14A の電源の ON し、通信ケーブルを接続して、"PLP300 Manager.exe"を起動して下さい。
・Serial Port のプルダウンメニューで適切な COM ポート番号を選択し、「開始」ボタンを押して、PC と PLP-300W14A を通信状態にしてください。「パラメータ」のタブをクリックし、PID 制御の Kp、Ki、Kd に数字を入力して「Write_PID_CONTROL」ボタンを押して下さい。
・Receive Message 欄に "WPI,OK" と表示されれば設定完了です。



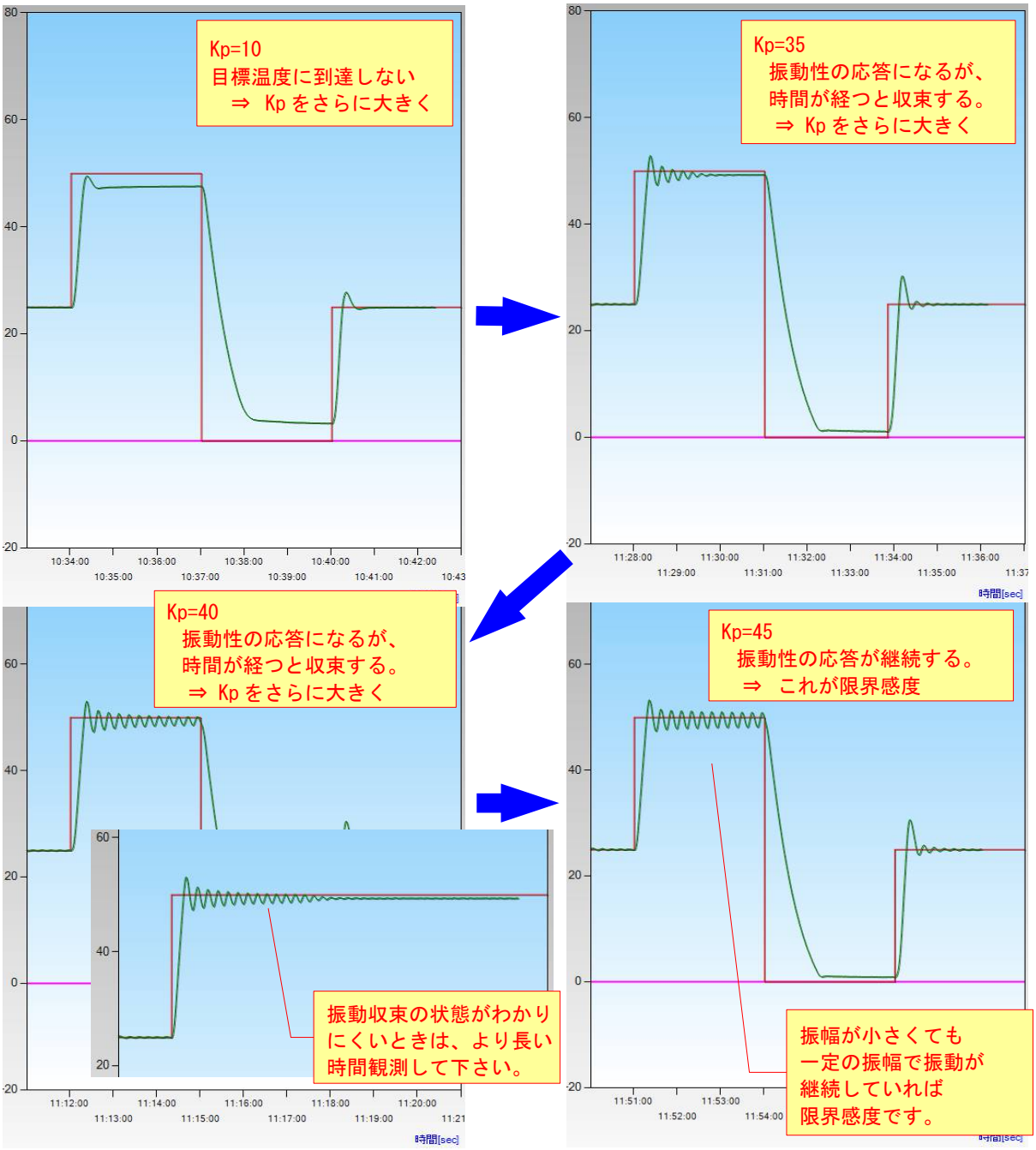
1-2）ステップ応答を測定する

・設定用ソフト"PLP300 Manager.exe"からの通信を停止するためにSerial Portの「停止」ボタンを押して下さい。
・制御用ソフト "PLC Controller.exe"を起動します。
・RS232のプルダウンメニューで適切なCOMポート番号を選択し、
・「開始」ボタンを押して、PCとPLP-300W14Aを通信状態にしてください。
・Timer Run Modeのプルダウンメニューで「連続」を選択して下さい。
・Temperatureの設定温度欄に目標温度を入力して下さい。
※目標温度は実際に制御したい温度範囲の上限、下限、その中間点付近に設定して下さい。初期値は目標値に対して10℃以上差がある温度にあらかじめ温度調節しておきます。
（実施例では、目標値を25℃→50℃→0℃→25℃と変化させて応答を測定しています。）
・Runのプルダウンメニューで「Manual Mode」を選択の上、STARTボタンを押すと温度制御動作を開始し、温度トレース画面に温度測定値の時間変化がグラフで表示されます。



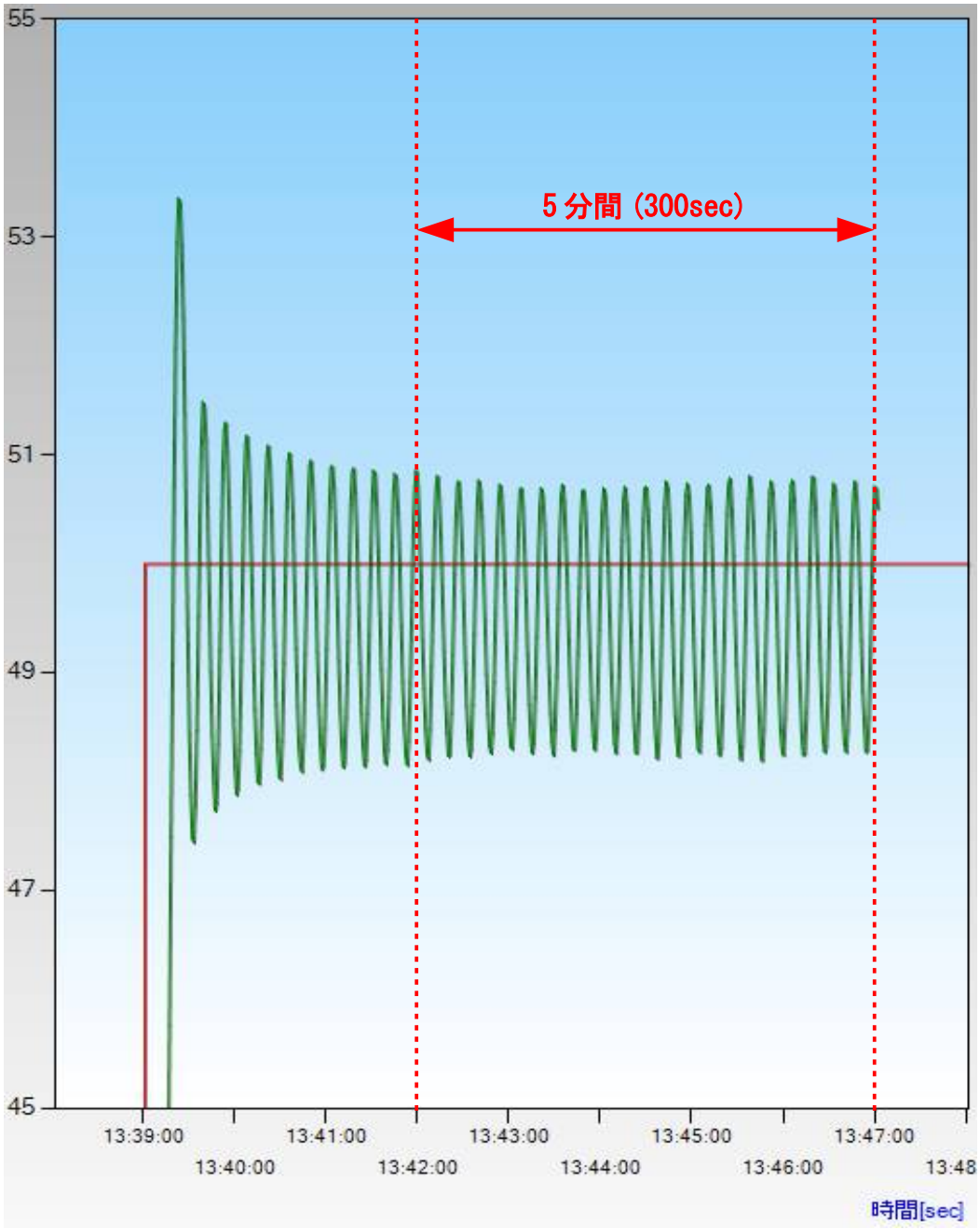
1-3）ステップ応答の評価～限界感度Kuを求める

測定したステップ応答を評価します。
限界感度(継続的な振動状態)に到達していない場合は、Kpをさらに大きい値に設定して、再度ステップ応答を測定します。
継続的な振動状態の応答の場合は、Kpをさらに小さい値に設定して、再度ステップ応答を測定します。
※再度Kpの設定を行う場合には、ペルチェドライバー"PLC Controller.exe"の通信を停止してから、ペルチェ設定ツール"PLP300 Manager.exe"の通信を開始して下さい。
プログラムを終了させる必要はありませんが、両方同時に通信ポートをオープンすることはできません。



２）振動周期 Pu を求める

限界感度状態での振動周期を求めます。
以下の例では、目標温度50℃で動作中の温度応答から振動周期を求めています。
５分(300[sec])間に振動回数が22回なので、
　振動周期Pu = 300[sec]/22 = 13.6[sec]
となります。
※限界感度や振動周期は、制御系により大きく異なります。
　応答性のよい(遅れ要素が少ない)制御系では限界感度が高くなり、周期が短くなる傾向があります。



３）最適な比例係数 Kp、積分係数 Ki、微分係数Kdを計算する

3-1) PID制御の場合

以上の実験により求められた限界感度Kuおよび振動周期Puから、最適な比例係数 Kp、積分係数 Ki、微分係数Kdを計算します。

まず、以下の表から比例係数Kp、積分時間 Ti、微分時間Tdを計算します。

条件		Kp	Ti	Td
①	応答性重視	0.6×Ku	1.25×Pu	0.05×Pu
②	安定性重視	0.3×Ku	3.75×Pu	0.05×Pu

※PLP-300W14Aの内部処理に適合させるため、一般的なPID制御の計算式とは係数が異なっています。

積分時間Tiから、積分係数Kiを計算します。
Ki = Kp×(⊿t/Ti)

微分時間Tdから、微分係数Kdを計算します
Kd = Kp×(Td/⊿t)

※⊿t:制御周期 PLP-300W14Aの場合 0.05[sec]

実施例のKu=45、Pu=13.6 を当てはめて計算すると、

条件①　Kp = 0.6×45 = 27
Ki = 27×{0.05/(1.25×13.6)} = 0.079
Kd = 27×{(0.05×13.6)/0.05} = 367

条件②　Kp = 0.3×45 = 13.5
Ki = 13.5×{0.05/(3.75×13.6)} = 0.013
Kd = 13.5×{(0.05×13.6)/0.05} = 184

となります。

3-2) PI制御の場合

微分制御を使用せず、PI制御を行う場合は以下の表のように計算します。
※この場合、Kdには"0"(ゼロ)を入力してください。

条件		Kp	Ti	Td
①	応答性重視	0.45×Ku	2×Pu	-
②	安定性重視	0.25×Ku	5×Pu	-

※PLP-300W14Aの内部処理に適合させるため、一般的なPI制御の計算式とは係数が異なっています。

積分時間Tiから、積分係数Kiを計算します。
Ki = Kp×(⊿t/Ti)

※⊿t:サンプリング周期 PLP-300W14Aの場合 0.05[sec]

実施例のKu=45、Pu=13.6 を当てはめて計算すると、

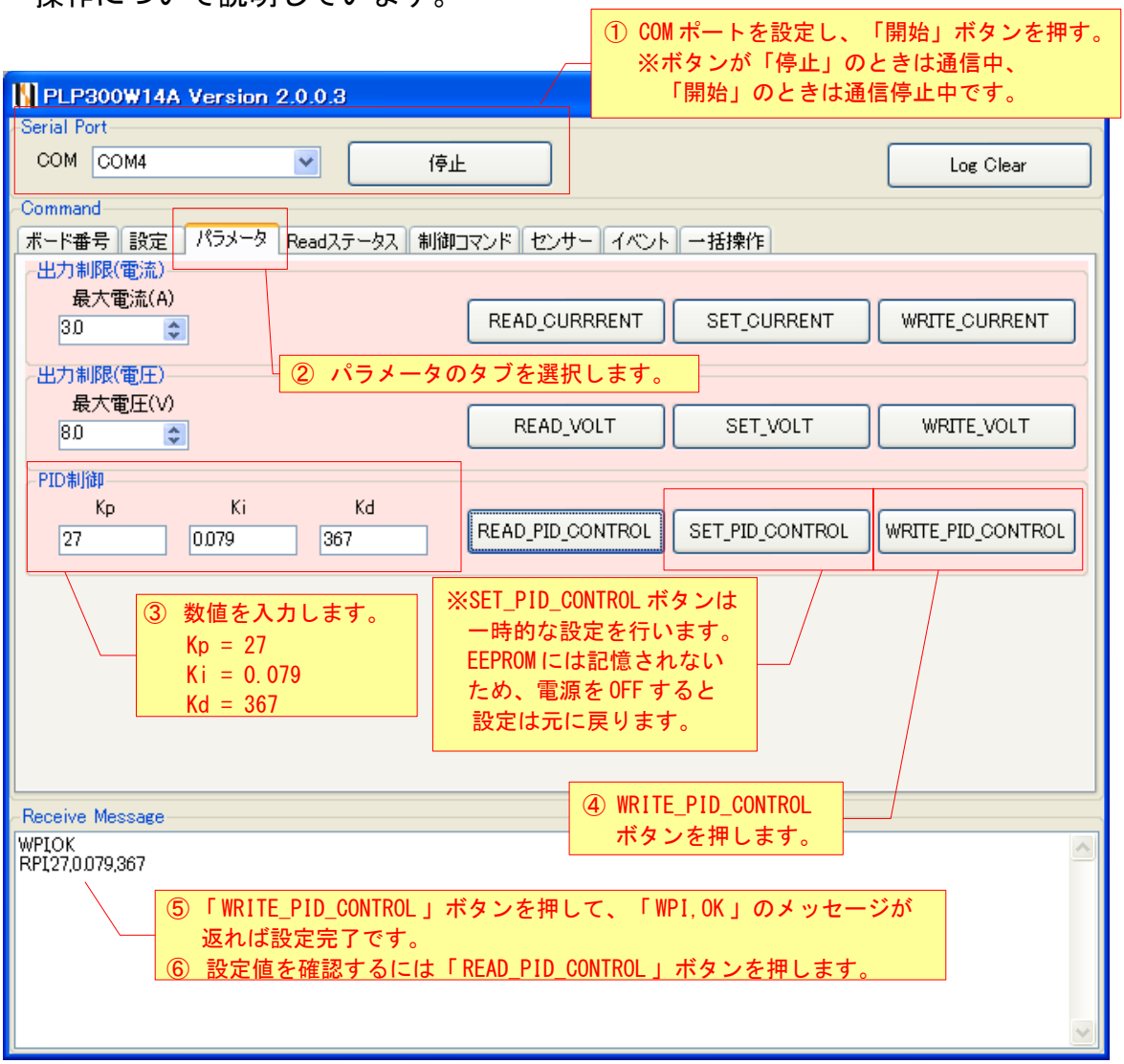
条件① Kp = 0.45×45 = 20.3
Ki = 20.3×{0.05/(2×13.6)} = 0.037

条件② Kp = 0.25×45 = 11.3
Ki = 11.3×{0.05/(5×13.6)} = 0.008

となります。

4）Kp、Ki、Kd をペルチェコントローラに設定する

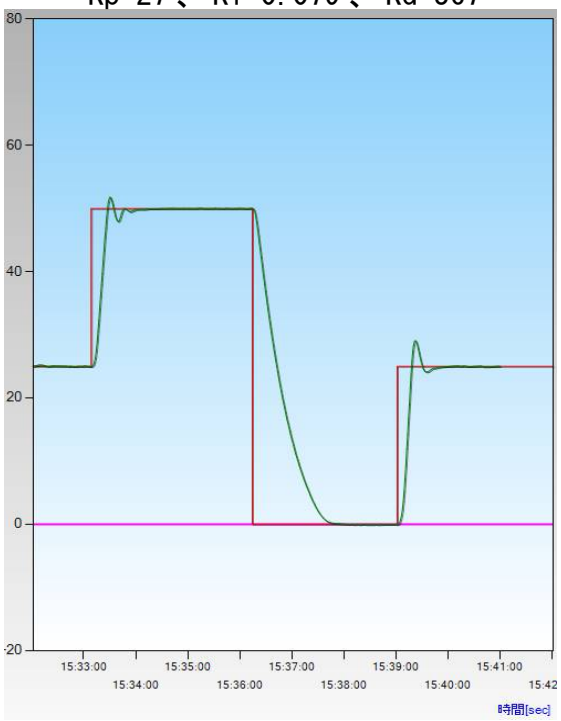
画面例は PID 制御の条件①のパラメータを PLP-300W14A に設定するときの操作について説明しています。



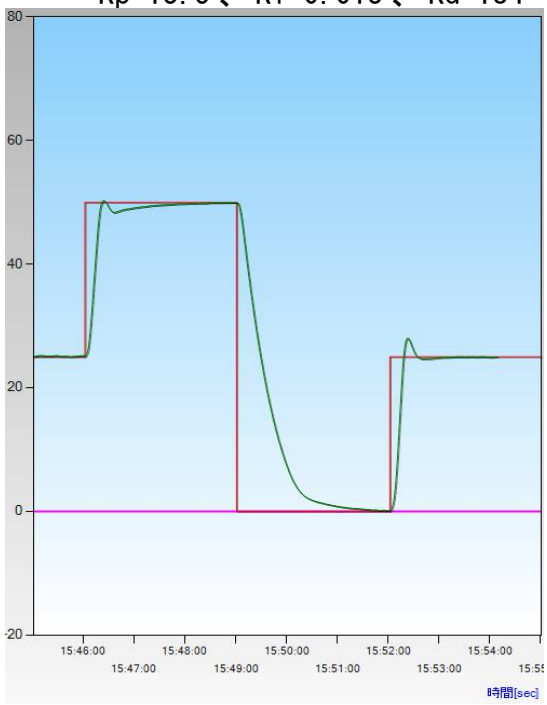
５）設定後のステップ応答確認

ペルチェドライバー　"PLC Controller.exe"を用いてステップ応答を確認します。

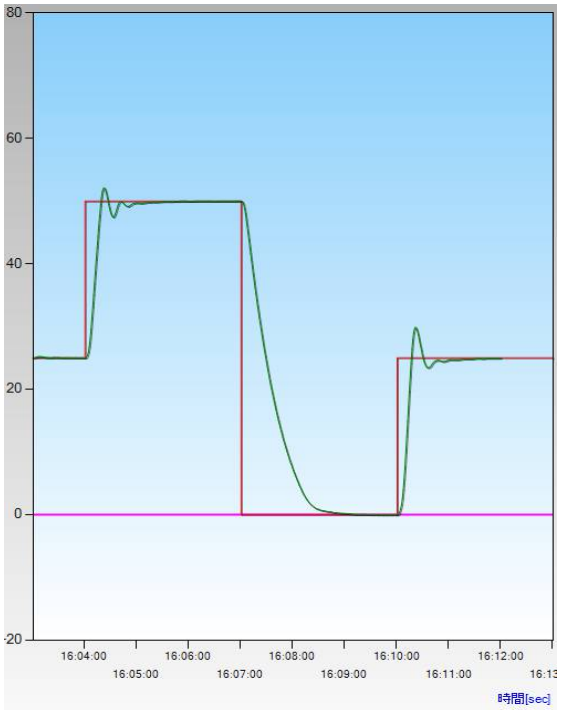
PID制御 条件①
Kp=27、Ki=0.079、Kd=367



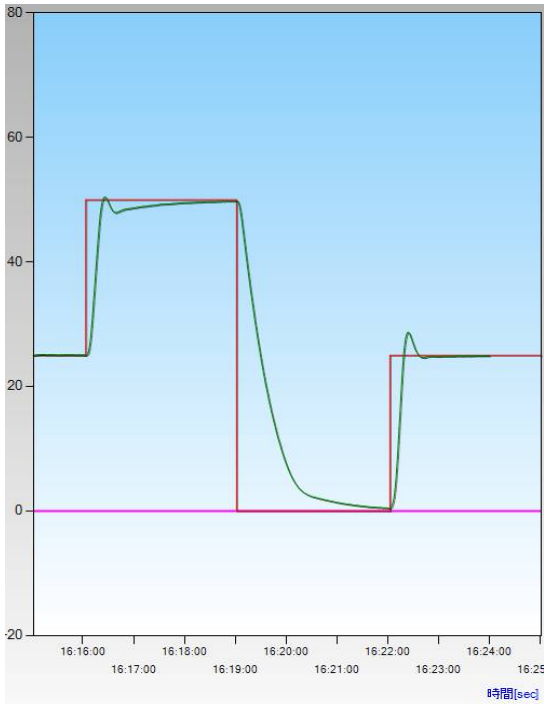
PID制御 条件②
Kp=13.5、Ki=0.013、Kd=184



PI制御 条件①
Kp=20.3、Ki=0.037、Kd=0



PI制御 条件②
Kp=11.3、Ki=0.008、Kd=0

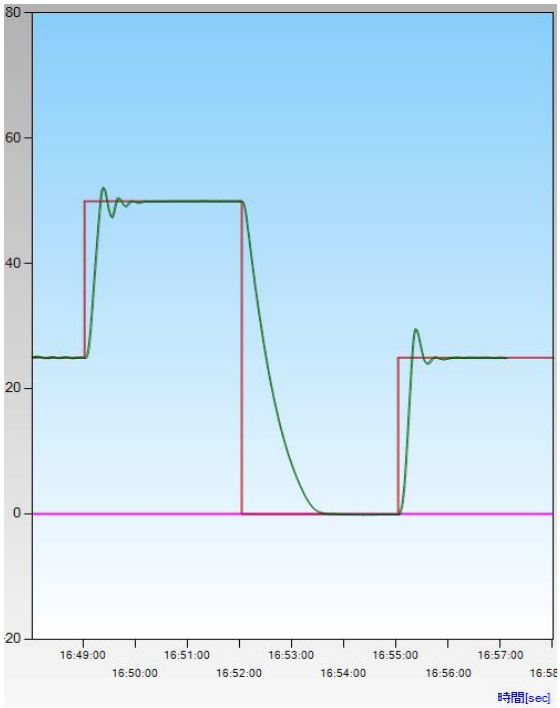


６）パラメータの合わせ込み

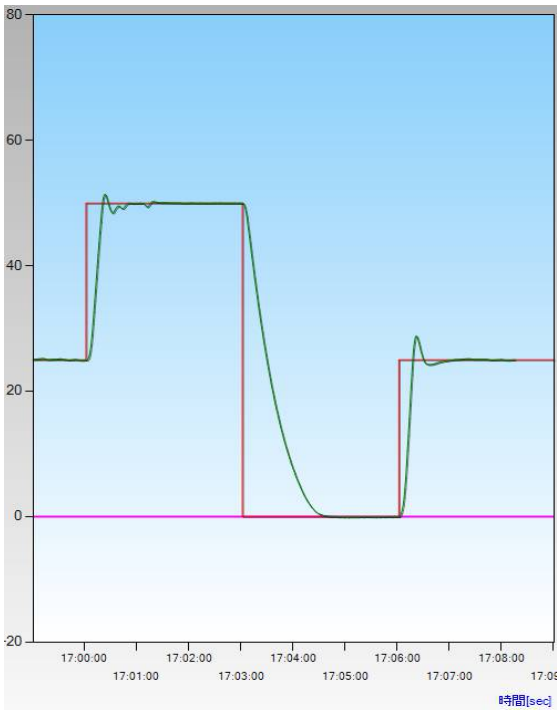
6-1）Kdの合わせ込み

Kdを大きくするとオーバーシュートが抑えられ、振動の収束が早まります。
以下の例では、PID制御 条件①の設定をベースにKdを変えて応答を観測しています。

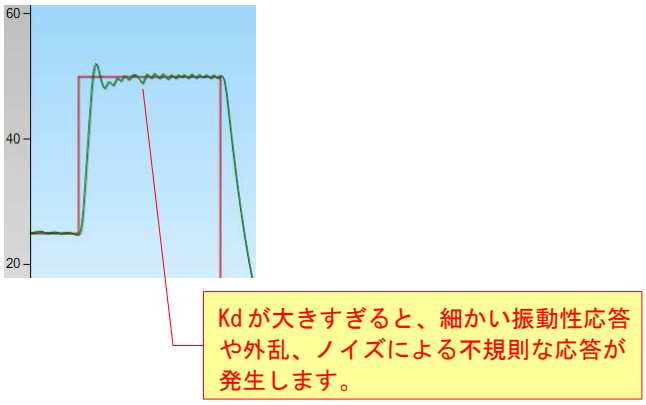
Kp=27、Ki=0.079、Kd=184



Kp=27、Ki=0.079、Kd=734



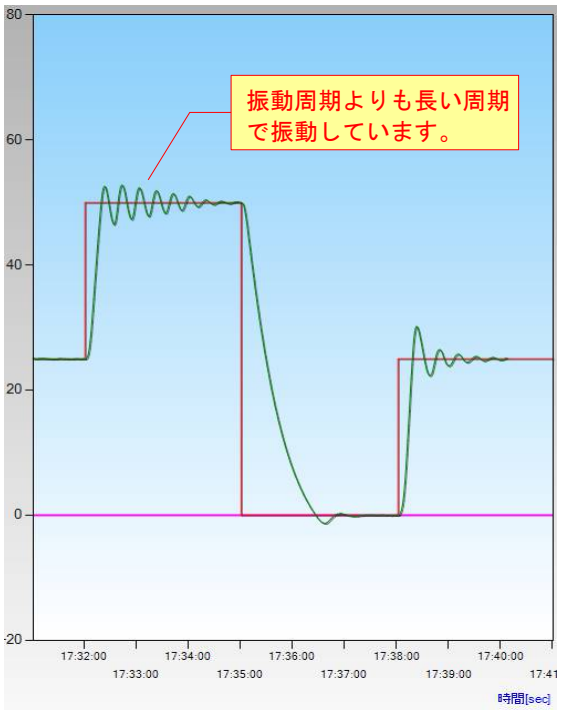
Kdを大きくしすぎると、温度応答は一見安定に見えても制御動作が不安定になり、短い周期の振動性応答が発生したり、外乱やノイズに対して弱くなる場合があります。
詳しくは本書「７．微分制御の効果について」をご覧ください。



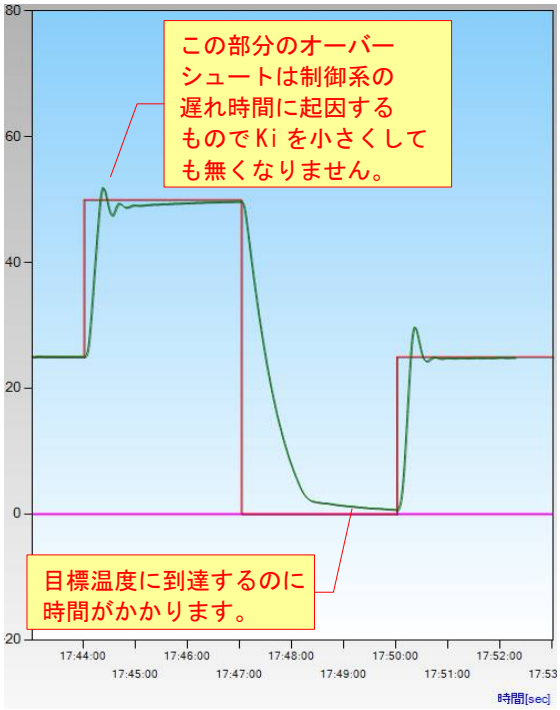
6-2) Ki の合わせ込み

振動周期 Pu とは異なる周期で温度が上下している場合は、Kp に対して Ki が相対的に大きすぎる可能性がありますので、Ki を小さくしてください。
以下の例では、 PI 制御 条件①の設定をベースに Ki を変えて応答を観測しています。
※Ki を小さくしすぎると、目標温度に到達するまでの時間が長くなります。

Ki が大きすぎる場合
Kp=20.3 、 Ki=0.148 、 Kd=0



Ki が小さすぎる場合
Kp=20.3 、 Ki=0.009 、 Kd=0



７．微分制御の効果について

微分制御は急激な温度変化を抑制する作用がありますので、微分係数Kdを適切に設定すると、温度応答のオーバーシュート抑えられるなどの効果があります。

しかし、微分係数Kdが大きすぎると、外的なノイズに対しても過敏に応答するため、制御動作が不安定になる場合があります。
このような場合でも、熱的な容量が大きい制御系では、温度応答があまり変化しない場合があります。
一定温度に制御しているのに、加熱動作と冷却動作が頻繁に切り替るような動きをしている場合は、制御動作が不安定になっている可能性がありますので、微分係数Kdの設定を見直してください。

変更履歴

Rev.	日付	内容	担当
1.00	2014/01/15	初版発行	YO
2.00	2016/05/11	Ki、Kdの計算式修正。 ペルチェモジュールを変更し、温度応答グラフを差替え。 デバイスドライバのインストールに関するテクニカルマニュアルの案内を追記。 制御用ソフトの注記追加。	YO
2.10	2017/04/07	事業移管に伴う会社名変更 株式会社ティーエスラボ → 合同会社クラッグ電子	YO
2.20	2017/07/24	ソフトウェア名称変更 制御ソフト PLP300_Driver → PLC Controller 設定ソフト PLP300_MEAS → PLP-300W14A Manager	YO

ユニバーサルペルチェドライバー
PLP-300W14A
テクニカルマニュアル
PID制御パラメータの設定
(Rev.2.20)

2017年7月24日

開発元：ティーエスラボ URL http://tslab.com/

製造販売元：合同会社クラッグ電子 URL http://kurag.o.oo7.jp/kurag-el/