

Personal Computer を用いた PID 精密温度制御

小林 忍*, 高田 直寛**, 泉 隆俊***

An Accurate Temperature Control Using Personal Computer

Shinobu KOBAYASHI*, Naohiro TAKADA**, and Takatoshi IZUMI***

(Received April 15, 1986)

An accurate temperature control of substance is required when studies in phase transition are carried out by X-ray diffraction or polarizing microscope. For this reason, a trial construction of a temperature controller using a personal-computer was undertaken. The accuracy of $\pm 0.04^\circ\text{C}$ was easily obtained with this device.

1. はじめに

物質の相転移におけるX線, 偏光顕微鏡等での物性研究では試料の精密な温度制御が必要である。筆者等は, パーソナル・コンピュータを用いた温度制御装置の開発を試みたところ, 簡単な装置で $\pm 0.04^\circ\text{C}$ 内の精度が容易に得られる事が判ったので報告したい。

本報告で得られる精度は苛酷な条件の予備実験で得られたものであり, より正確な制御が期待できる。それらも合わせて本論文にて議論される。

2. 制御の原理

制御対象の温度を熱電対の起電力として電圧計で測定しパーソナル・コンピュータに取り込む。収束させたい温度, 現在の制御対象の温度からヒーターに印加する電流(または電圧)量を計算する。次に計算で求めた電流を電源から出力させる。この操作のくり返しにより温度を制御する。システムのブロック・ダイアグラムを図1に示す。

制御量の計算は, PID(比例-積分-微分)動作を基本

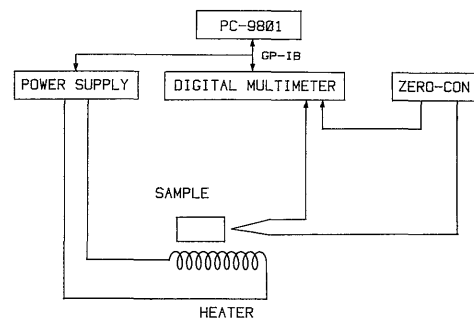


図1 ブロック・ダイアグラム

にした¹⁾。

PID動作は, 一般に

$$P = K(fXdt/T_i + X + T_d \times dX/dt) \quad (1)$$

P : 制御量, X : 偏差, K : 比例感度

T_i : 積分時間, T_d : 微分時間

と表せる。パーソナル・コンピュータを用い, このPID制御をするには, 一定時間 t ごとに制御をすると(1)式は,

$$P = K(1/T_i \times \sum_{j=1}^n X_j + X_n + T_d \times (X_{n-1} - X_n)/t) \quad (2)$$

*工業物理学専攻大学院学生 (Graduate Student, Engineering Physics)

**三菱電機エンジニアリング株式会社 (Ryoudenkouki Engineering Corporation)

***工業物理学科 (Department of Engineering Physics)

X_n : 現在の温度と目標値との差

X_{n-1} : 一回前の温度と目標値との差

と書き直される。

温度制御では、放熱に対する項を考慮する必要があるのに、(2)式には、それが考えられていない。そこで(2)式の P_n を直後の制御量(電流または電圧)でなく次に収束させようとする温度に対して何度、上下させるかを示す間接的な量とする。放熱を補う為に必要な電流量は(3)式で求められる。

$$I_1 = A \times \sqrt{\frac{\text{現在の温度} - \text{室温}}{\text{現在の温度} - \text{室温}}} \quad (3)$$

A : 定数

次に現在の温度を収束させたい温度に近づけるのに必要な電流量を(2)式で求められる P_n を用いて

$$I_2 = B \times \sqrt{|P_n|} \times P_n / |P_n| \quad (4)$$

B : 定数

とする。ここで、(3)、(4)式の $I_1 + I_2$ をヒーターに印加する電流量とする。

3. 使用機器

Personal Computer

NEC PC-9801

GP-IB インターフェースボード

NEC PC-9801-19

POWER SUPPLY

HEWLETT PACKARD 6002 A

COMPUTING DIGITAL MULTIMETER

TAKEDA RIKEN TR-6877

ZERO CONTROLLER

KOMATSU ZERO-CON

熱電対

クロメル・アルメル

ヒーター

研究室で作成したもの

4. プログラム

プログラムは、N₈₈BASIC だけだと処理速度が遅く問題となるので機器の操作、変数の初期設定等を N₈₈BASIC で行い、グラフィック、主な数値計算をアセンブラで作成した。アセンブラでの数値計算は、単精度実数(32ビット ショート・リアル)で数値演算コプロセッサ(8087)により行う。

マシン語は、CP/M-86 のアセンブリ言語で記述しそれを N₈₈BASIC から呼び出せるように変換をした。

ショート・リアルの場合、数値の表現方法が N₈₈BASIC と 8087 では異なる。この変換は、アスキー出版のシステム解析(上、下)に出ているプログラムを利用した²⁾。

現在の機能は、温度を一定に保持する事、目標とする温度まで上昇させるのに、急激に温度を上げるのではなく、結晶を壊さないように適当な速度で温度を上昇させること。又、目標温度を“U”、“u”、“D”、“d”のキーを

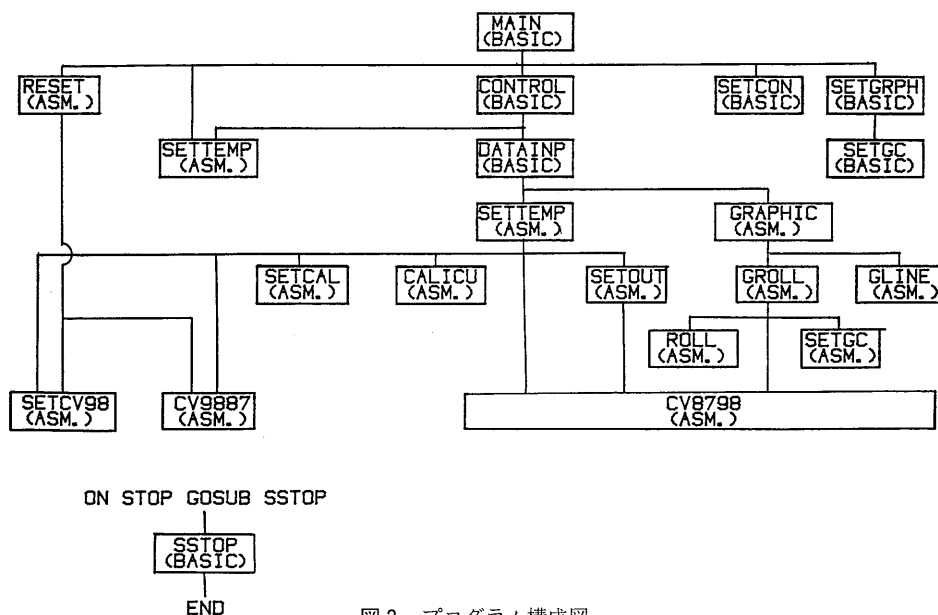


図2 プログラム構成図

ASM. : アセンブリ言語で作成したもの

BASIC : N₈₈BASIC で作成したもの

押す事により一定の間隔で上下させることが出来る。画面（ディスプレイ）への出力は、グラフを出力するものとし無いものとの2種類ある。（グラフの出力をすると、処理時間が長くなるのであまり用いないほうがよい。）

プログラムは、MAIN から始まり、終了は、STOP キーを押す事により割り込みがかかり、サブルーチン SSTOP 実行後終了する。

この方法では、一定時間ごとに制御する必要があるからパーソナル・コンピュータ内蔵の時計を用い制御する時間になったら割り込み命令で、サブルーチン CONTROL へ飛ばす。

各ブロックでの大まかな内容を以下に示す。プログラムの構成図を図2に示す。

MAIN：周辺機器の初期設定、変数の初期設定をし時間による割り込み命令がかかるまで無限ループの中で待ち状態となる。

SETCON：画面にグラフ出力をしない時の初期画面の作成。

SETGRAPH：画面にグラフ出力をする時の初期画面の作成。

SETGC：V-RAM にデータを送り数値のキャラクターを出力する。

RESET：N₈₈BASIC で設定した値をフォーマット変換し、メモリにストアする。アセンブラ内でのデータの初期設定。

SETTEMP：収束させたい温度は、INKEY \$ 入力により可変である。収束させたい温度が変化した時フォー

マット変換をしメモリにストアする。

CV 9887：N₈₈BASIC から 8087 ヘフォーマット変換する。

CV 8798：8087 から N₈₈BASIC ヘフォーマット変換をする。

SETCV 98：CV 9887 を用い N₈₈BASIC から 8087 ショート・リアルに変換する為にメモリ転送をする。

CONTROLE：時間による割り込みがかかったとき最初に流れるサブルーチンで、制御量の計算、起電力の取り込み、電流量のコントロールをするサブルーチンへ飛ばす。次の時間割り込みを設定する。

DATINP：起電力を取り込み、電源をコントロールする。

SETMEM：制御量の計算に必要なデータをフォーマット変換しメモリにストアする。N₈₈BASIC に計算した値を返す。

SETCAL：熱電対の起電力を温度に変換する。

CALICU：前に述べた理論により計算する。

SETOUT：制御量を電源に送る型にする。

GRAPHIC, GROLL, GLINE, ROLL：グラフを出力するサブルーチン。

5. 結 果

目標温度 100℃ で実行した結果を図3に示す。収束は±0.04℃以内である。この値は、制御対象が密閉されなくて空気の乱流があることマルチメーターの分解能が 1 μV（クロメル・アルメルの場合、起電力が 1 μV 変わ

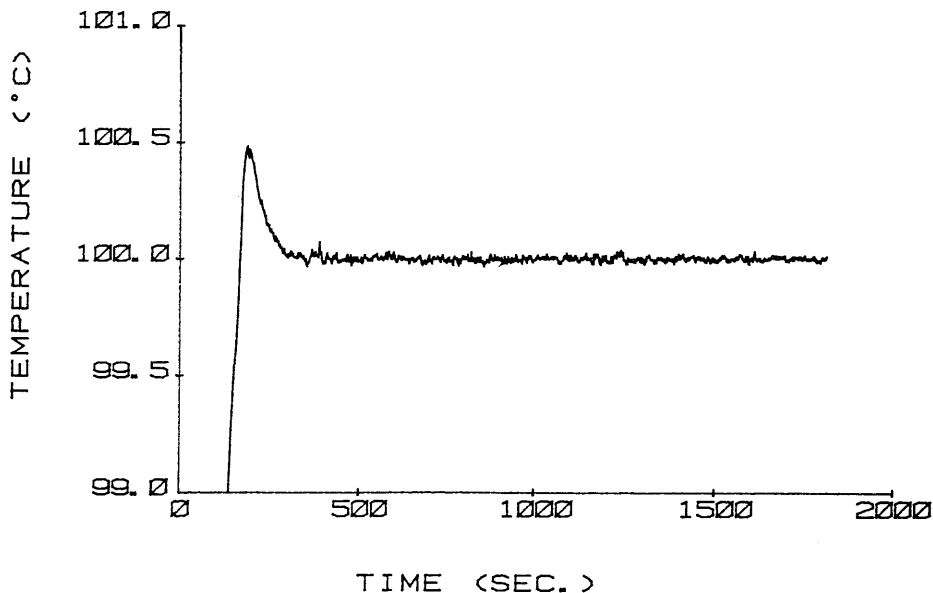


図3 制御温度の収束性

ると温度は約 0.012°C 変わる。)であることを考えれば満足な結果である。又、当研究室では実用可能な精度である。

6. 考 察

本システムの温度制御の精度を支配する要因はいくつか考えられる。その第一は図1におけるマルチメーターの電圧分解能である。このメーターの分解能は $1\mu\text{V}$ が限界であり、より高分解能メーターを用いれば更に高い精度が期待できる。第二に、本実験装置は、X線解析用のために開発を行ったので試料は空气中に露出している。このため空気の流れを伴い、これが安定性を劣化させている。試料を密閉できる場所では容易に高精度が期待できよう。

本研究は、基礎の部分ができただけであり、改善の余地があるがこのままでも一般の研究には十分に役立つ。

目標温度を少しずつ変化させることによって、一定時間に一定温度上昇又は下降させることもできる。(但し放

熱やヒーターの加熱のできる範囲内に限る。)

このシステムは小さな空間の中で制御をするので、熱電対は1つしか用いていない。大きな空間の中で制御するには、熱電対を何本か用いて実際に制御したい場所の温度を求め制御量を計算すればよい。

更に低温装置を用いたり、PID動作の各パラメーターが(計算から)最適値を取れば、精度の向上が期待できる。

7. 謝 辞

本研究を行うにあたり御協力いただいた栗濱忠司、横井啓洋両氏に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) Donald P.Eckman, Automatic Process Control John Wiley & Sons, inc. (1958), 萩原進訳: プロセスの自動制御, 関近代科学社(1965).
- 2) 浅野泰之他: PC-9801 システム解析(上, 下), アスキー出版株式会社(1983).