



校正にも使える高精度な装置を手作り！

ラバー・ヒーターを使った温度範囲

50℃～150℃の恒温オイル槽の設計と製作

大半の電子部品や電子回路の特性は温度により変化するため、温度制御・温度校正は温度計測の専門家でなくても電子回路設計に携わっている多くの技術者にとっても必要とされる技術です。

また、温度制御・温度校正に関する製品は数多く存在しますが、それらの多くは高価である上に実際の設計、製造の現場に適合しない場合も多々、存在します。

前回はペルチェを使った恒温槽の設計、製作について解説しましたが、より高い温度範囲の 50～150℃で高精度な温度制御・温度校正を実現するため、ラバーヒーターを用いた恒温オイル槽（写真1）の設計と製作について解説します。

ラバー・ヒーターとは

● 基本構造と特長、用途

ラバー・ヒーターとは、図1で示すようにパターン化されたニッケルクロム合金による発熱体とシリコン・ラバーからなっています。その特長は

- ・ いろいろな形状に合わせて設計できる。
(写真2を参照)
- ・ 接触面積が大きく加熱効率が高い。
- ・ 均一な温度分布を得ることが可能。
- ・ 300℃前後の高温領域まで使用可能。
- ・ 耐湿、耐候性に優れている。

オイル槽の表面は曲面ですが、この全面にヒーターを貼付けることが出来るため、均一な温度を得やすい特長を有していると言うことが出来ます。

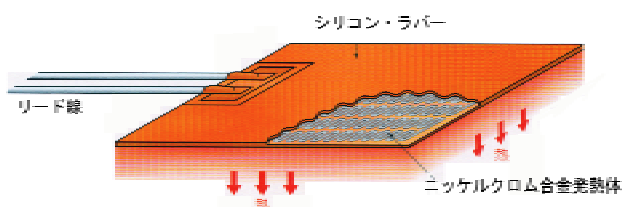
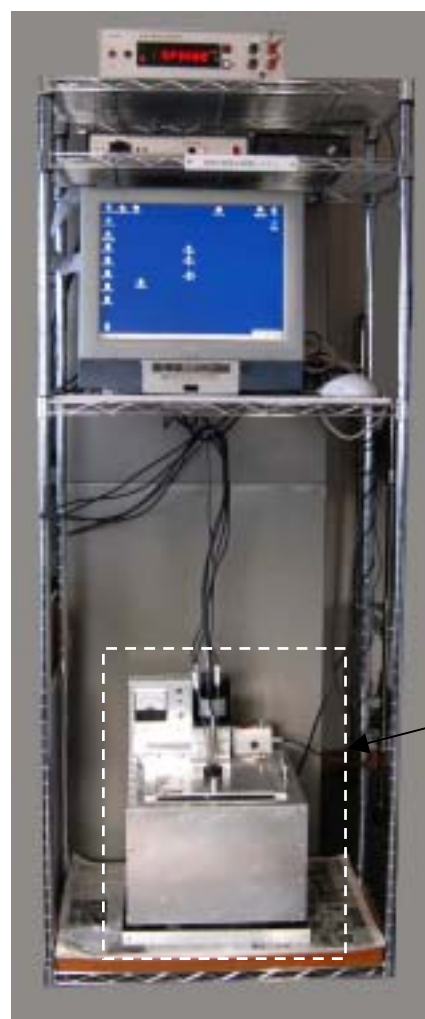


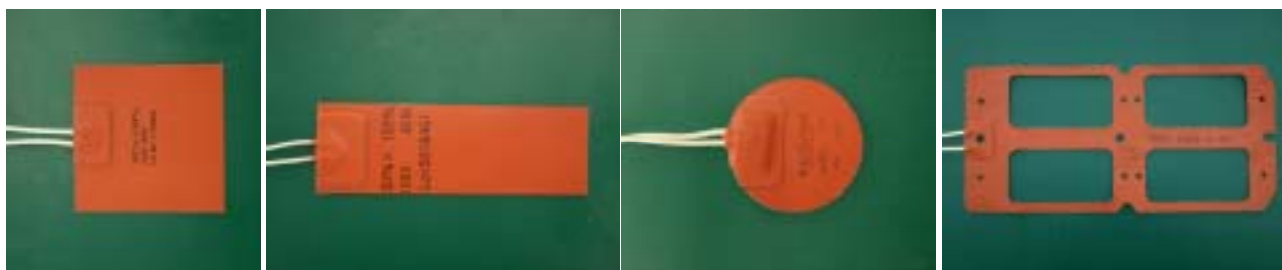
図1 ラバー・ヒーターの基本構造
(河合電器産業(株)カタログより)



今回製作した
恒温オイル槽

写真1 製作した恒温オイル槽を使った温度制御システムの外観
50℃～150℃で温度制御が可能

Keyword



正方形

長方形

円形

複雑な形状

写真2 いろいろな形状のラバー・ヒーターの外観（河合電器産業㈱提供）

用途に合せた形状加工はラバー・ヒーター・メーカーが対応します。

次に、代表的な用途を次に示します。

- ・ 医療関連での保温（MR スキャナー磁場安定、血液、注射器、医療・健康機器など）
- ・ 電気・電子機器での保温（半導体用ホットプレート、計測機器、モーター、金型ヒーターなど）
- ・ 宇宙・航空機関連での保温（宇宙ステーション補給機、尾翼操縦装置、赤外線写真装置など）
- ・ 事務機器関連での保温（コピー機、OA バインダー、ホットスタンプ、写真現像液槽ヒーターなど）
- ・ その他の用途での保温（パラボラアンテナ凍結防止、精米機防湿、プレス機、ホッパー加熱など）

● 特性

ラバー・ヒーターの特性は次の性能によって示されます。

- ・ 許容最高温度
- ・ 電力密度
- ・ 飽和特性
- ・ 熱寿命

許容最高温度は一般的に標準品で 200℃前後、耐熱品で 300℃前後ですが、取付け方法により多少、異なりますので注意が必要です。

電力密度(W/cm^2)とはヒーターの単位面積当りの電力であり、加熱対象物の熱容量と共に加熱速度とヒーター表面の最高温度を決定します。

飽和特性とは図 2 に示すようにヒーターを空气中に放置し温度上昇が飽和状態に達するまでの特性を示し、各メーカーから代表特性として提示されるデータです。実際の使用条件とは大きく異なるため参考程度のデータと考えた方が良いでしょう。

発熱体の寿命は半永久的と言われていますが、使用するシリコン・ラバーの材質、構造により熱寿命は異なります。また、図 3 に示すように、使用するヒーター温度と電力密度にも関係し、使用温度が低く、電力密度が小さいほど寿命が長くなります。

● 取付け方法

ラバー・ヒーターを加熱対象に密着させて取付けることが重要であり、その方法を次に示します。

- ・ クランプ(金属板による押さえ)
- ・ 専用接着剤
- ・ 両面粘着シート
- ・ フック・スプリング

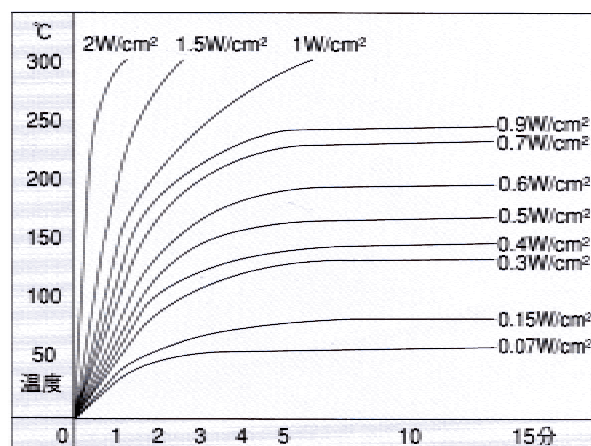


図2 ラバー・ヒーターの飽和特性
（河合電器産業㈱カタログより）

ヒーター単体を空气中に吊下げて表面温度を測定。使用環境、被加熱物の材質等により特性は変化します。

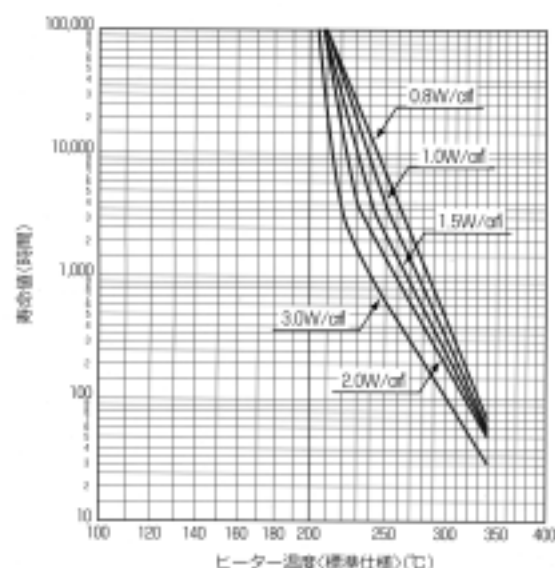


図3 ラバーヒーターの熱寿命
（河合電器産業㈱カタログより）

オイル槽の熱設計

● オイル槽の理論飽和特性

必要とするラバー・ヒーターの電力容量の目安を付けるため、使用予定のオイル槽の飽和特性を理論的に求める必要があります。そのため、まず、オイル(体積 V 、比熱 C 、比重 ρ)を温度 0°C から温度 T に上昇させるのに必要な熱量を求めます。これは次の(1)式で表すことが出来ます。

$$Q = C\rho VT \quad \dots\dots\dots(1)$$

容量 3L の信越化学製シリコンオイル KF-96-20cs($C=1.6\text{kJ/kgK}$, $\rho=0.95\text{kg/L}$)を用いると、例えば、温度 100°C まで上昇させるには $Q=456\text{kJ}$ の

熱量が必要になります。例えば、平均 45.6W の電力をオイル槽に供給した場合、温度 100°C に上昇するまで約 170 分かかることになります。

供給電力と熱応答の関係をもう少し理論的に検討するには、熱損失の概念を導入する必要があります。すなわち、被加熱物が外界と接する表面から熱が失われ、この熱量は外界と接する材料によって異なります。この熱損失の代表的データを図4に示します。但し、接している外界の風速やオイルの攪拌状態により熱損失の値は著しく変わりますので、参考程度の値と考えて下さい。

熱損失は表面温度にほぼ比例するので、単位時間当りの熱損失を

$$W_L = aT \quad \dots\dots\dots(2)$$

とします。

また、ラバー・ヒーターに供給される電力を W_0 とし、その半分がオイルに供給されるものと仮定します。よって、温度 T の時にオイルに加えられる単位時間当りの熱量は

$$W = W_0 / 2 - W_L = W_0 / 2 - aT \quad \dots\dots\dots(3)$$

また、(1)式より $W = (dQ/dt)$ であるので、

$$(W_0 / 2 - aT) = C\rho V \frac{dT}{dt} \quad \dots\dots\dots(4)$$

更に

$$\int dt = C\rho V \int \frac{dT}{(W_0 / 2 - aT)} \quad \dots\dots\dots(5)$$

となるので

$$t = C\rho V [\log(W_0/2) - \log(W_0/2 - aT)] \quad \dots\dots\dots(6)$$

よって、時間 t におけるオイル槽の温度 T は

$$T = (W_0/2a) \left(1 - 10^{-\frac{t}{C\rho V}} \right) \quad \dots\dots\dots(7)$$

となります。電力 $W_0=100, 200, 300\text{W}$ の場合、(7)式より導かれる理論飽和特性は図5のようになります。よって、温度 150°C を得るには 300W 以上のヒーターが必要になります。

● 電力密度の設計

オイル槽に接しているオイルの全表面は

$$S = \pi r^2 + 2\pi r H_o \approx 1000\text{cm}^2$$

(π :オイル槽の半径 8cm、 H_o : 深さ 15cm)

となりますので、各電力密度における熱応答性は図6のようになります。例えば、60 分以内に 150°C まで昇温させるには電力密度で 0.6W/cm^2 以上、電力容量で 600W 以上のヒーターが必要になります。

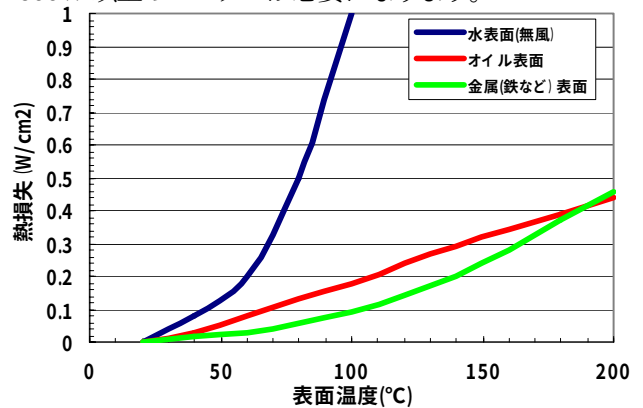


図4 表面温度と熱損失の関係

熱損失はヒーターと接している環境状態や材料により大きく変わるため、上記値はあくまでも参考データです。

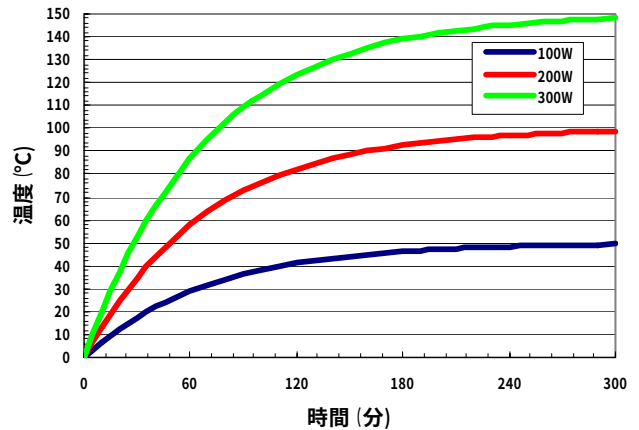


図5 各電力容量におけるオイル槽の理論飽和特性

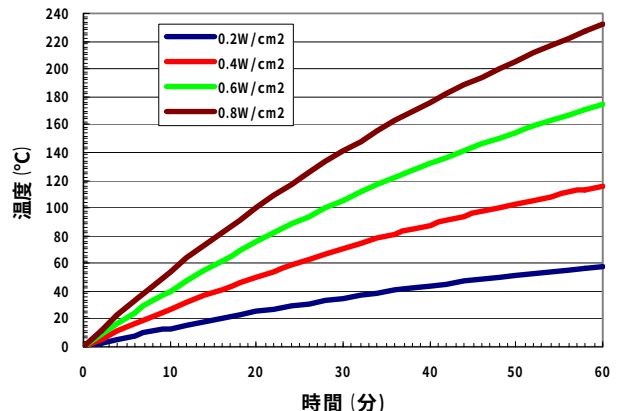


図6 各電力密度におけるオイル槽の昇温特性

トライアックによる電力制御の設計

ラバー・ヒーターによりオイル槽の温度を制御する場合、ON/OFF 制御か PID 制御を用いる場合が一般的です。リレーを用いた ON/OFF 制御は簡単ですが、制御温度の安定性が十分に高いとは言えないため、ヒーターへの供給電力を制御できるトライアックを用いた PID 制御が高精度温度制御には適していると言えます。

トライアックの原理を図7により簡単に説明します。すなわち、AC100Vの正弦波形のゼロ・クロス点に対して任意の位相差を持つトリガ・パルスを入力することにより電力を制御することが出来ます。

トライアックを用いた電力制御器で良く知られているのは調光器であり、この原理的回路を図8に示します。すなわち、回路内のボリューム VR を調整することによりトリガ・パルスの位相差を変えることが出来ます。

しかしながら、ボリューム調整による手動制御ではなく自動制御の場合、トライアックの制御回路は図8の回路のような単純な回路ではなく、回路設計上、幾つかの工夫が必要です。

すなわち、ゼロ・クロス点をパソコン(PC)、またはマイコンの PIO に入力し、PID 制御演算による操作量に対応した位相差をトライアック制御回路に与える温度制御システムが必要です。これを図9に示します。このシステムでは位相差を PC の演算処理により与えるため、アナログ回路の構成は比較的簡単にすることが出来ます。

しかし、トランジスタ技術 2007 月 5 月号記事「ペルチェを使った範囲 $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 誤差 0.01°C 以内の恒温槽の製作(後編)」と同じ PID 制御演算処理用 PC を用いて図10の温度制御システムを構成するため、PC からトライアック制御回路に入力する信号はPIOからのタイミング信号ではなく、DA 変換器を利用したアナログ電圧出力になります。この場合にはトライアックの制御回路は少し複雑になります。このシステム例を図11に、具体的設計例を図12に示します。また、各点の波形を図13に示します。

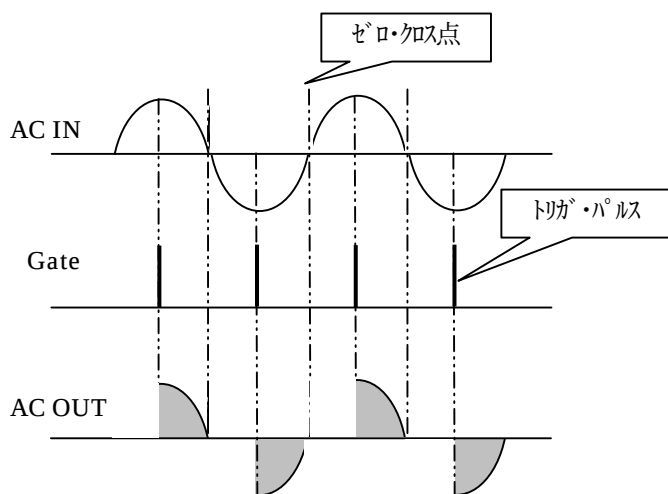


図7 トライアックの動作原理

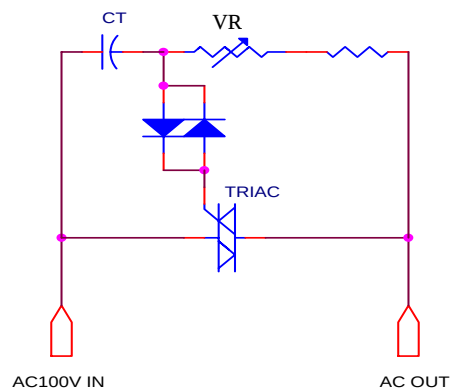


図8 トライアックを用いた調光器の原理的回路

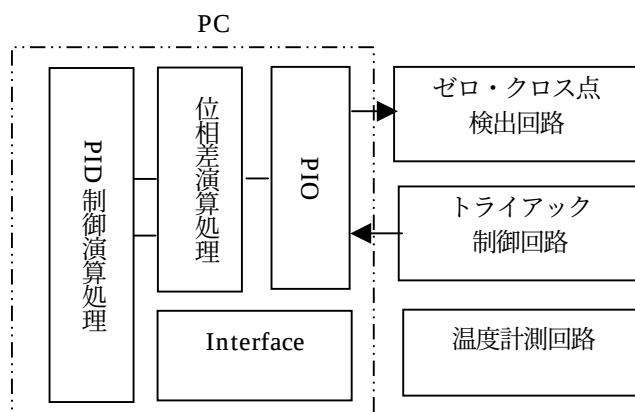


図9 PCにより位相差をトライアック制御回路に与える温度制御システム

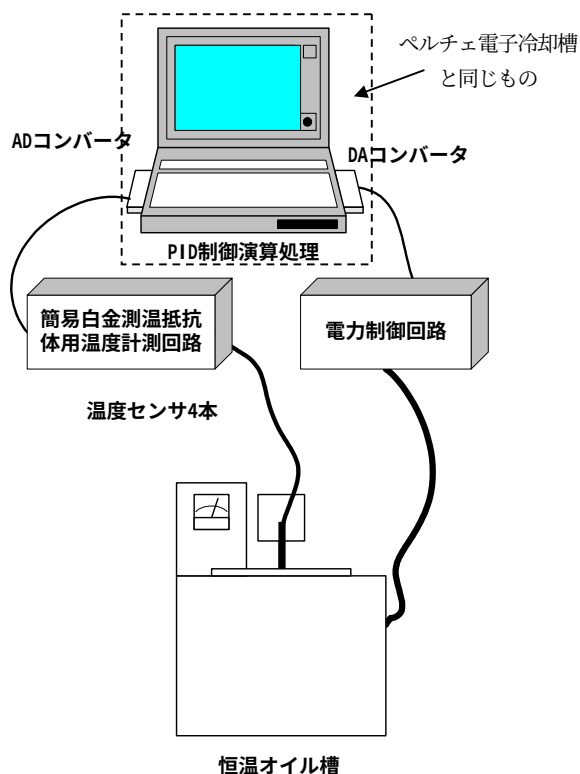


図10 恒温オイル槽の温度制御システム

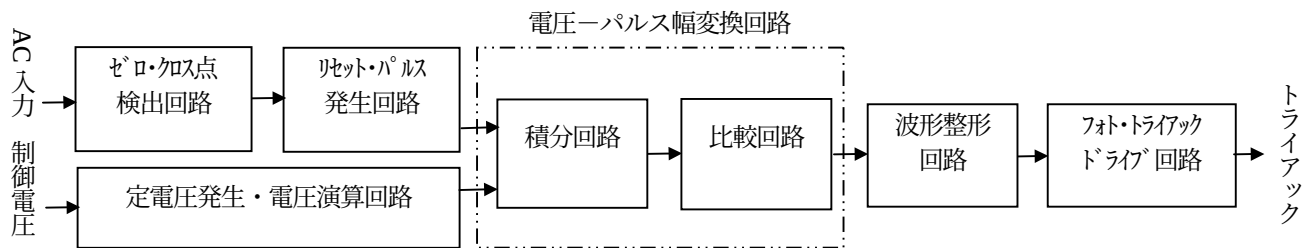


図 11 アナログ電圧入力による電力制御回路の構成図

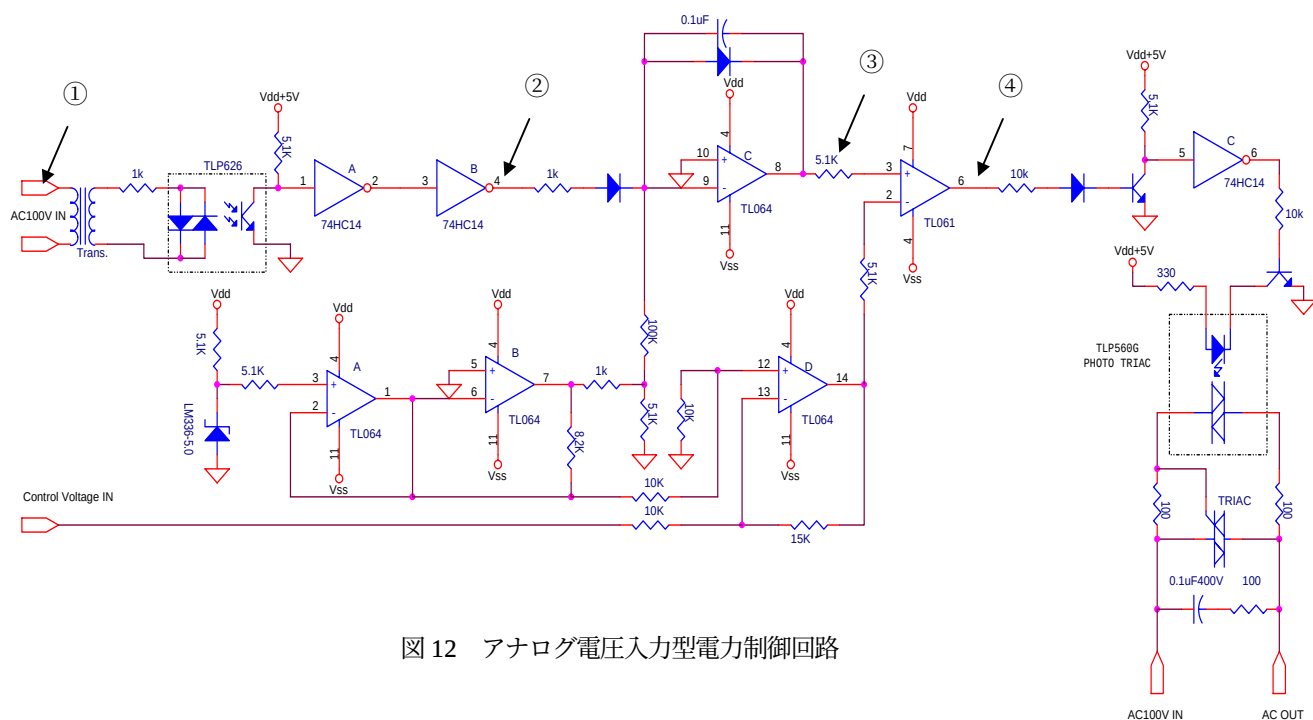


図 12 アナログ電圧入力型電力制御回路

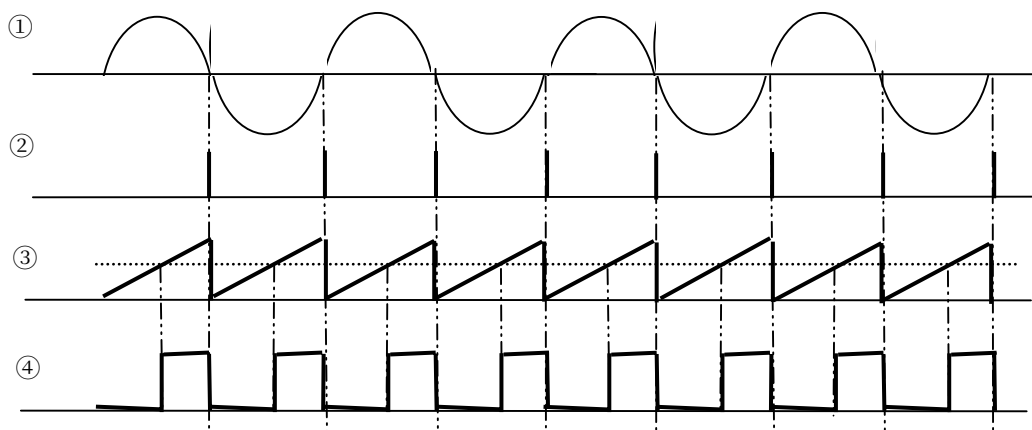


図 13 アナログ電圧入力型電力制御回路の各点の電圧波形

オイル恒温槽の製作と評価試験

恒温オイル槽の製作図を図 14 に示します。ラバー・ヒーターは底面も含めたオイル槽の全表面に貼付け、貼付けには熱伝導性が優れている接着剤を使用します。ラバー・ヒーターの最大容量は 500W とし、オイル槽の温度を均一に保つため攪拌用モーターとスクリューを設置します。

トリアックでラバー・ヒーターへの供給電力を制御し、電力 $W_0=100, 200, 300\text{W}$ における飽和特性の実測データを図 15 に示します。図 5 のデータと比べると実測データが理論データに類似していることが分かります。

更に、オイル槽中心部から約 5cm 離れた四隅に 4 本の温度センサを配置し、オイル槽の空間的、時間的温度変動を測定した結果を図 16 に示します。温度変動が 0.05°C 以内の幅に抑えられていることが分かります。

<参考文献>

- (1) シリコンラバーヒーター・カタログ、技術資料、河合電器産業(株)
- (2) サミコンヒーター・カタログ、坂口電熱(株)
- (3) O&M HEATER カタログ、オーエムヒーター(株)

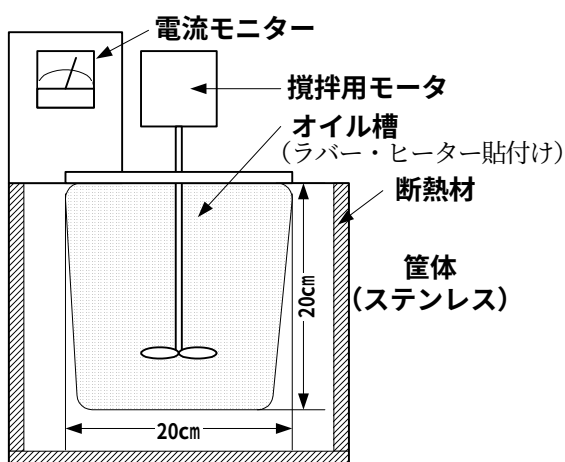


図 14 恒温オイル槽の製作図

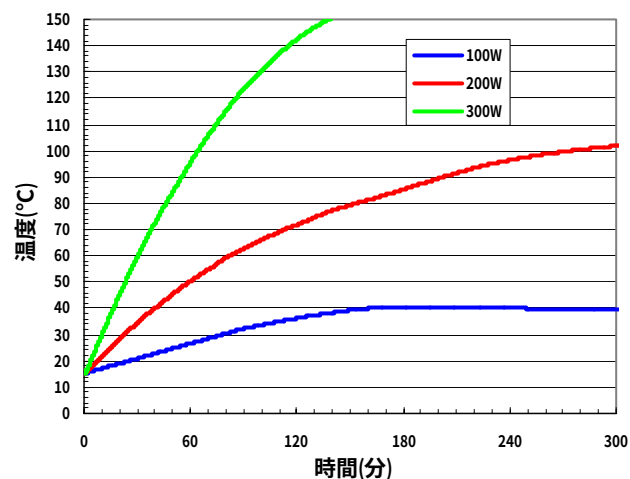


図 15 各電力容量におけるオイル槽の飽和特性の実測データ

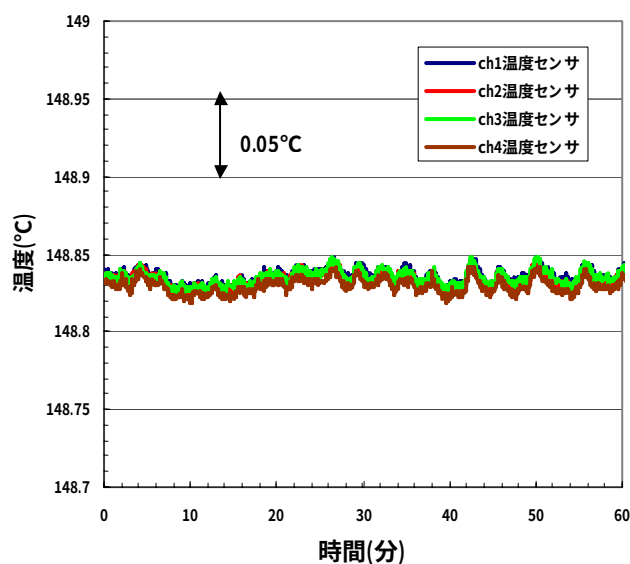


図 16 恒温オイル槽の温度変動の実測データ