

SiC 炉用電源の作製と使用条件の検討

栗本 和也，高井 章治

名古屋大学工学部・工学研究科技術部 プロセス・材料技術系

1. はじめに

現在，高温材料に関する研究においては，1000 ~ 1500 程度の温度で多くの実験が行われている。電気炉には一般的に使用最高温度 1600 のシリコニット (SiC) 発熱体を用いたものが多く使用されている。当該研究室にもシリコニット (SiC) 炉が 10 台，使用最高温度 1800 のケラマックス (LaCrO₃) 炉 1 台，同じく 1800 のカンタルスーパー (MoSi₂) 炉 1 台を有している。それらの温度を制御する電源として，当該研究室ではサイリスターを用いたものを使用し，市販の電源が 4 台と当該研究室で作製した電源が 7 台，今回作製のもの 1 台がある。コスト的にみると，当該研究室で作製した電源は市販の電源と比較して半分以下である。また，過去に作製した電源においては，その容量の過不足，機能の過不足，昇温パターンなどの使用条件が，随時検討され現在に到っている。

今回はこの検討も踏まえて，電気回路に精通していないものでも，使用目的に最も適した電気炉用電源を作製できるように，設計・組み立てのマニュアル化を目指し，さらに，近年，環境破壊が懸念されている中，一般的に加工度（価格，エネルギー，機能性）の高い製品を長く使うことは，結果的に環境への負荷が軽減されることになるという考えのもとに，消耗品である発熱体の寿命を延ばす意味からも，その昇温方法などの最適使用条件の検討を目的とした。こうした背景を図 1 に示す。

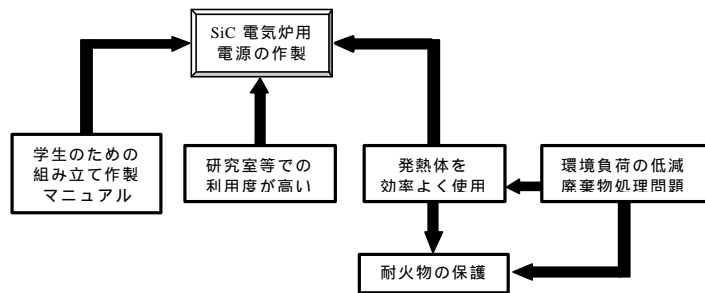


図 1 本研修の背景

2. 部品の選択および装置の構成と設計・組み立て

発熱体と出力制御方法

電気炉の昇温方法は，過去の変遷をみると，初期の頃は，主にタップ式トランスやスライダック等で電気炉に加わる電圧や電流を見ながら行っていた。次に PID 制御方式を導入した制御装置の登場によって，定値制御が可能になり安定した実験温度が得られるようになった。さらに，プログラム制御装置では，一定温度での制御はもとより，定値制御の目標値を連続的に変化させて昇温や降温を，プログラムによって自動的に行えるようになって，スイッチを入れるだけで室温から実検温度までの昇温ができるようになった。

ただし，発熱体

表 1 主な発熱体の種類と出力制御方法

発熱体	最高使用温度()	昇温による電気抵抗	出力制御方法
シリコニット	1600	大 小	電圧制御，電力制御
ケラマックス	1800	大 小	電圧制御，電力制御
カンタルスーパー	1800	小 大	電流制御，

の負荷や昇温条件を考えてプログラムの最適化を図らなければ、いくらPID制御を用いても、いきなり発熱体にフルパワーが掛かることもあり注意が必要である。

設計は、まず使用する電気炉に見合ったサイリスタレギュレーターの容量を決定する。次に制御方式を選択する。制御方式には表1に示すように3つの方式がある。

負荷にかかる電圧の変化を捉えフィードバックさせて出力制御する方法，電力の変化を捉えて出力制御する方法，電流の変化を捉えて出力制御する方法である。制御方式の選択にあたっては、発熱体の抵抗が温度によってどのように変化するか等を調査し適切なものを選択する。

本研修ではシリコニット電気炉用電源を作製する。その発熱体の特性は図2に示すように温度に対する抵抗の変化率が負から正に変わり、経年変化も大きいという特徴がある。このような発熱体には、一般的に電力フィードバック形のサイリスタレギュレーターがもっとも適していると考えられこれを採用した。

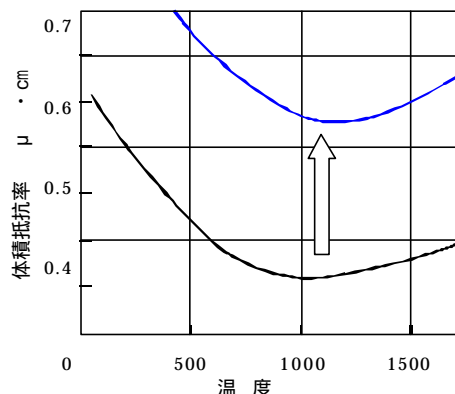


図2 SiC 発熱体の体積抵抗率と温度の関係

(2) 部品の選択

部品の選択は、機能と価格を考慮して選択した。表2、写真1に示す。

プログラム調節計は、熱電対11種類に対応したマルチレンジ入力で、制御出力は電流出力形、プログラムは8ステップ2パターン、PIDオートチューニングを装備したものである。

電力フィードバックのサイリスタレギュレーターについては、今回初めて選択した。

その他の部品については、以前より使用してきた実績のある形式のものを選んだ。

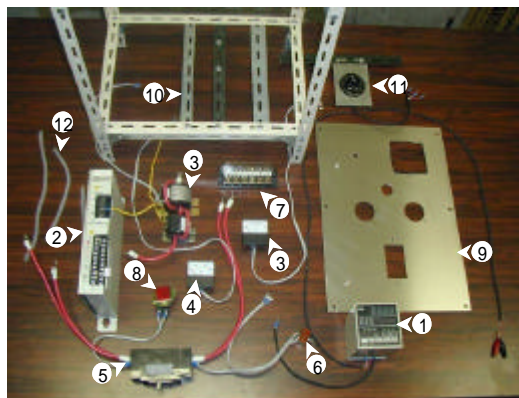


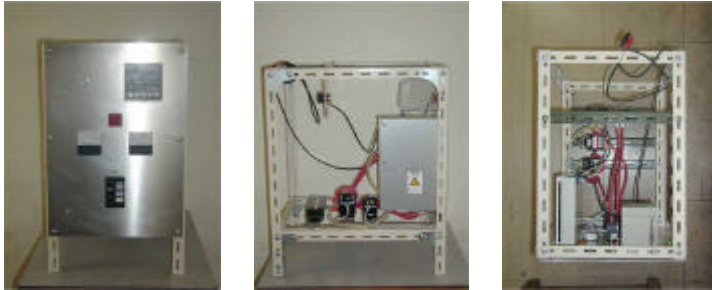
写真1 装置部品

表2

No.	部 品 名	規 格 等
1	プログラム調節計	8ステップ/2パターン
2	サイリスタ・レギュレーター	200V-75A, 電力フィードバック型
3	電流計	60×60mm, AC50A, CTタイプ
4	電圧計	60×60mm, AC200V
5	サーキット・ブレーカー	単相 220V-50A
6	トグルスイッチ	4P
7	端子台	60A-6P
8	パイロットランプ	角形(赤)
9	パネル板	アルミ t=1.5mm, 350×500mm
10	フレーム	穴あきLアングル(L=3m)
11	勾配設定用ボリューム	2k
12	配線材, その他	

(3) 装置の構成，回路図および外枠などの装置設計

全体の結線を図 3 に示す。
外観を写真 2 に示す。



装置正面

装置側面

装置上面

写真 2 完成した装置の様子

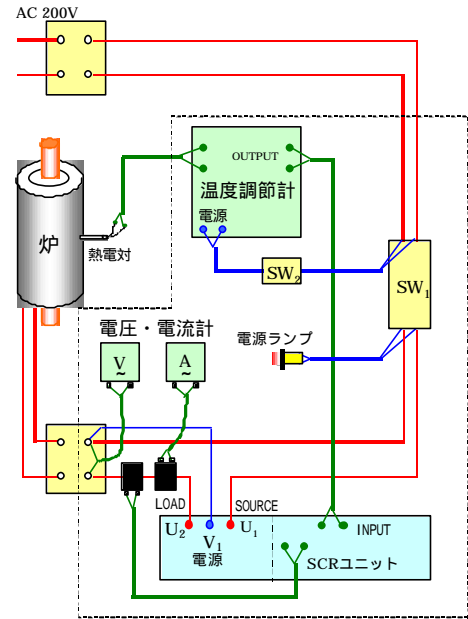


図 3 結線図

3 . 最適使用条件の検討

(1) PID 方式とは

PID は自動制御でもっとも一般的に用いられている制御方法の一つであり P(比例動作) , I (積分動作) , D (微分動作) を組み合わせて，ある動作信号に応じて適当な操作量をつくり出し，これを制御対象に与えて，その制御量を目標値に一致させるような連続動作のことを言う。

(2) 昇温方法の違いによる発熱体の経年変化の調査

昇温方法によって，発熱体にどのような変化が現れるかを調査した。

SiC 発熱体 A12 - 8A 1 本を使った簡単な炉を作って試験を行った (写真 3) 。

最初，耐火レンガに溝を掘ってその中に発熱体をセットしたところ，急速な昇温をした炉の方では，写真 4 のように発熱体と耐火レンガが接触している部分で反応が起こり，数回で発熱体が使用不能になってしまった。

そこで，図 4 のように温度の上がる部分を空洞にした改良型の炉で試験を行った。

試験は 2 台の簡易炉を使い，室温から 1200 までの昇温を，最初から定格電圧を加えた急速な昇温方法と，プログラム制御を使って緩やかに昇温する方法をおのおの何度か繰り返し，その都度 1200 で保持するのに必要な電力を調査した。

結果を図 5 に示す。

プログラム制御を使って緩やかに昇温した炉は，昇温回数を重ねても 1200 を保持するのに必要な電力の増加の度合いは小さい，それに対して急速な昇温をした方は，必要な電力に顕



写真 3 発熱体試験用簡易



写真 4 試験後の発熱体

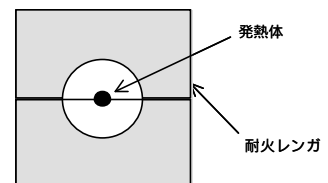
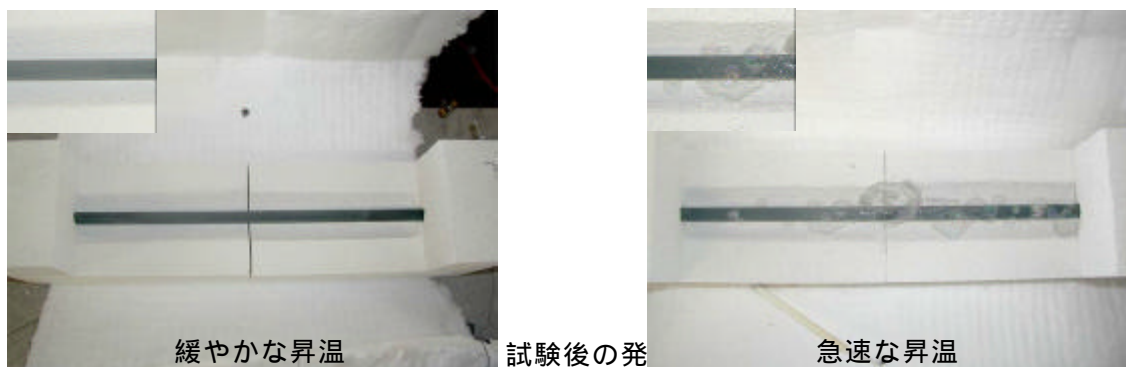


図 4 改良型簡易炉

著な増加が認められる。

試験後の発熱体の様子を写真5に示す。

緩やかに昇温したほうはほとんど変化が現れていないが、急速に昇温した方は発熱体に変化が現れているのが確認できる。



(3) 昇温条件の検討

発熱体は、前述のように使えば使うほど体積抵抗率が大きくなって、所定の温度を維持するために必要な電力もたくさんいるようになり、ついには定格電力を加えても温度が上がらなくなって寿命になってしまう。電気炉に応じた適切な昇温方法は、発熱体を長く使うためにも大切なことと考える。

研究室等で一般的に使われている容量3KVA～8KVA程度の管状炉は、メーカーの資料によれば、昇温速度は最大毎分5という値を聞いている。しかし、実際には中に入れる反応管のヒートショックによる割れ等を考慮して、通常毎分3、最大でも毎分4の昇温速度を推奨する。プログラムの一例を示す(図6)。

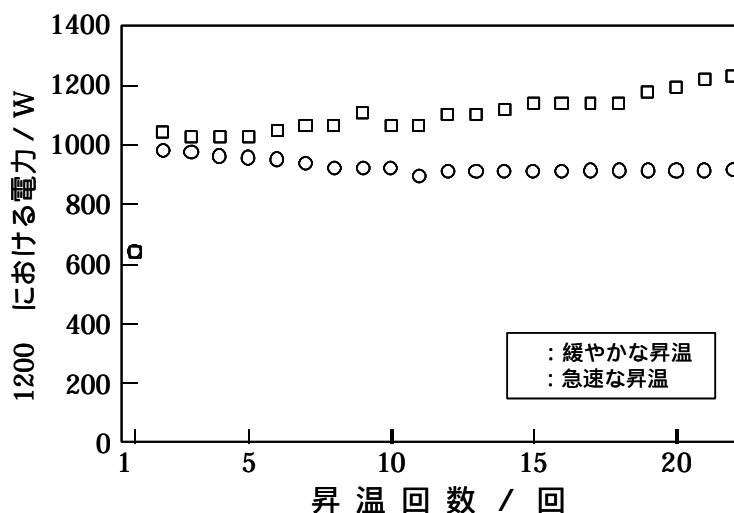


図5 昇温回数と1200に保持するために必要な電力の関係

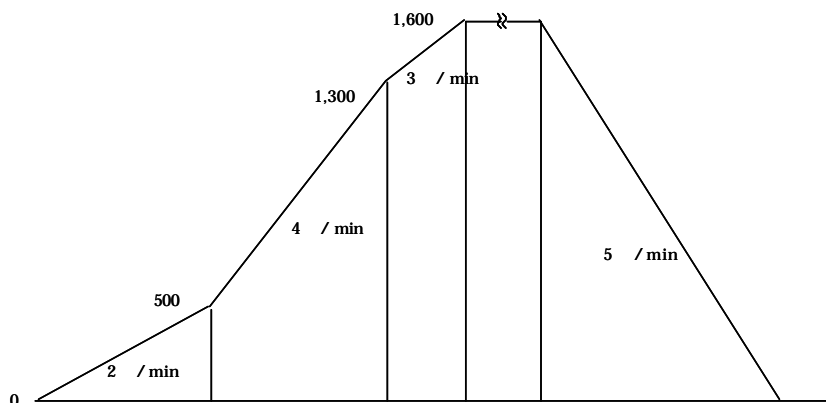


図6 プログラム制御を使った昇温パターンの一例

4．まとめ

- (1) SiC 電気炉に適した電源の設計から作製までを，電気回路に詳しくないものでも作製できるようにマニュアル化した。
 - (2) 長期に渡って SiC 発熱体の耐久試験を行い，耐久性に関するデータを提供することができた。
 - (3) 発熱体を適正に使用しないと，周囲の耐火物に悪影響を及ぼし，しいては，それが発熱体の寿命を縮めることにもなることがわかった。
 - (4) SiC 発熱体などに最適とされている電力フィードバック型のサイリスターレギュレーターを採用したところ，以前までの電圧制御型に比べると制御性が良いように感じられた。
 - (5) プログラム制御のできる温度調節計を用い，PID，Limiter，勾配設定などを適宜組み合わせで最適条件で使用することは，発熱体の寿命を延ばすためにも重要であることがわかった。
- 本研修では，電気炉用電源として最低限の構成であったが，理想的には各種警報モニターや警報出力を装備し，安全面でも配慮した構成とすることが望ましい。

5．謝辞

本研修におきまして，作業場所や装置の提供を頂きました材料機能工学科材料物理化学の山内睦文教授に感謝の意を表します。

参考文献

- ・電気応用，東京電機大学出版局