

# グラスライニング用焼成炉「5号炉」

The furnace No.5 for glass-lining



(化)製造部生産技術グループ  
和田 博 美  
Hiromi Wada  
(化)製造部GL製造室  
沢田 雅 光  
Masamitsu Sawada

グラスライニングの焼成工程では、焼成炉の温度制御の精度と炉内の雰囲気はグラスライニングの品質に大きな影響を与える。このため焼成炉は、重油やガス焚きの直火炉から、精密な温度制御ができ、燃焼ガスにさらされずクリーンな炉内雰囲気が得られる電気炉に変わってきた。ところが、電気炉にはランニングコストが高いという弱点を持っている。そこでこれらの課題を解決するため、都市ガス（13A）燃焼の熱回収装置付ラジアントチューブを組み込んだ、高性能焼成炉をこの度開発して、弊社播磨製作所の焼成ラインに導入した。この結果、ランニングコストが従来の電気炉の約1/3で、しかも電気炉に勝る温度制御精度と、クリーンな炉内雰囲気が得られた。

In the firing process for glass-lining, the furnace temperature control accuracy and the furnace atmosphere have significant effects upon the glass-lining quality. Thus, the furnace has changed so far from a heavy oil or gas fired direct heating furnace to an electric furnace in which a precise temperature control is attained and a clean furnace atmosphere is obtained without being exposed to any combustion gases.

Nevertheless, the electric furnace has a drawback that a running cost is expensive. To solve this problem, Shinko Pantec recently developed a high performance furnace incorporating radiant tubes with a town gas (13A) combustion recuperator and introduced it into a firing line at our Harima Plant. As a result, it has been confirmed that the running cost of the high performance furnace is around one-third of that required in the conventional electric furnace and that this furnace surpasses the electric furnace in the furnace temperature control accuracy and the clean furnace atmosphere.

## Key Words

炉	furnace
グラスライニング	glass-lining
グラスライニング製品	glass-lined products
ラジアントチューブ	radiant tube

## まえがき

グラスライニング機器は、近年、医薬品、ファインケミカル、電子材料などへの用途が拡大し、機器の小型化が進んでいる。弊社の播磨製作所では、これまでこれらの用途に多い中型機器（2000 Lt.～8000 Lt.）の焼成を大型の電気炉で焼成してきたが、大型炉で小型機器を焼成すると熱効率が悪くコスト高となっていた。また熱効率を上げるため、複数台まとめて炉に入れて焼成すると、製作期間が長くなって、顧客からの短納期の要求に対応できなくなる、などの問題が生じていたため、機器のサイズにあった小回りの利く中型の焼成炉の導入を計画した。

電気炉では、割高な電気代を使う上に電力のデマンドも上がって、さらにコストアップとなるので、安価でクリーンな都市ガス（13A）を熱源にした焼成炉を、新たに開発して導入することになった。グラスライニングの品質に直接影響する温度制御の精度と、炉内の雰囲気は既存の電気炉以上の性能であることはもちろん、安くてクリーンなエネルギーを使って、コストの低減と公害防止を目標に開発した。その結果、写真1の高性能焼成炉を開発することが出来たので、ここに紹介する。

### 1. グラスライニング用焼成炉の変遷

グラスライニング用の焼成炉は、熱源と炉の型式が時代とともに大きく変わって来た。現在は電熱ヒーターによる電気炉が一般に使用されている。

今までの弊社の焼成炉の変遷を紹介すると、第1図に示すように、石炭焼きマッフル炉に始まって重油焼き直火炉、ガス焼き直火炉、電気炉へと進歩し

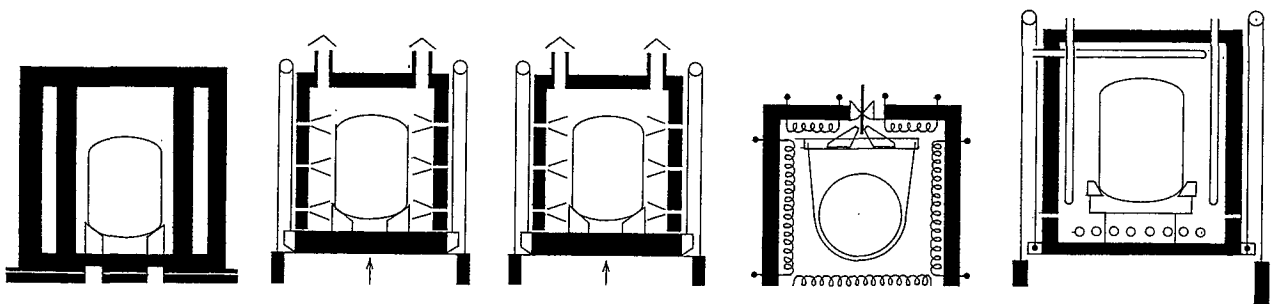


写真1 グラスライニング焼成炉  
Photo.1 The furnace for glass-lining

てきた。またオイルショック後には、耐火断熱材が煉瓦からセラミックファイバーに変更されるなど、省エネルギー対策も施されてきた。

### 2. グラスライニング焼成炉の要求仕様

用途に合わせて様々な工業用炉が世の中で使用されているが、我々のような工業用グラスライニング機器を焼成するのに使用される炉は、大気雰囲気中で900℃前後の焼成温度まで升温される炉で、特殊な雰囲気炉ではない。



Muffle type  
with coal-firing

1. 石炭焼き  
マッフル炉

Direct heating with  
heavy oil burner

2. 重油焼き直火炉

Direct heating with  
gas burner

3. ガス焼き直火炉

Electric heating

4. 電気炉

Radiant tube heating  
with gas burner

5. ガス焼き  
ラジアントチューブ炉

第1図 焼成炉の変遷

Fig. 1 Transition of the Furnace

食器や家電製品といった耐久消費財に使用される珪瑯製品は量産を目的として、珪瑯業界では主にトンネル式の連続焼成炉が使用されている。一方、主に工業用に使用されるガラスライニング製品は、初め下引き釉が焼き付けられた上に上引き釉が何度も焼き付けられていき、平均1.2 mmの厚みに仕上げられる。厚みが数十ミクロンと薄い珪瑯に比べて、ガラスライニングの塗膜厚みは非常に厚く、各焼成工程では、異なる焼成温度で微妙にコントロールされる。さらに製品のほとんどが個別受注生産のため、焼成工程へは常に異なった形状、仕様の機器が流れてくる。上記のことからガラスライニング業界ではバッチ式焼成炉が多く使用されてきた。ガラスライニングの厚みが平均1.2 mmと厚いために、ガラスが軟化する焼成温度近くで、長時間加熱冷却が行われると、ガラスが重力で流れて欠陥となったり、ガラスと鋼の反応過多による欠陥が発生するので、均一でかつ急加熱と冷却が必要となる。

ガラスライニング機器は鉄生地の上にガラスがライニングされているため、機器外面のスケールが内面のガラス表面につくことをさげなければならない。もちろん発熱体からの酸化スケールも許されない。このため熱処理炉などで一般に行われている炉内攪拌は、スケールを拡散させるので行えない。ガラスライニング焼成炉は、炉内を攪拌せずフルパワーで昇温して均一に加熱されることが要求されるため、仕様のにはかなり厳しい炉と言える。以上の仕様条件を整理すると、

<焼成炉の仕様>

- 1) 温度制御精度：焼成温度  $\pm 10^{\circ}\text{C}$   
(炉内温度) 昇温時  $\pm 50^{\circ}\text{C}$   
(フルパワー昇温)
- 2) 加熱方式：燃焼加熱であっても燃焼ガスと製品とは隔離
- 3) 炉内攪拌：炉内攪拌無し
- 4) バッチ/連続：バッチ炉

炉を設計する上で前述の仕様の他に、最も重要な条件は炉の型式である。炉内温度の均一性、省エネルギー性能、炉内への搬入搬出のハンドリング性能などを配慮した構造が求められる。

### 3. 炉の構造

焼成炉の構造を決めるには次のことに配慮しなければならない。第一に用途すなわち製品の形状にあった炉の設計である。次は吊って焼くのか、置いて焼くのか、また立てて焼くのか、横にして焼くのか、という焼成時のポジショニングである。また炉への

ハンドリングをどうするのかということも構造を決める要件となる。さらに今回は省エネルギーをテーマに取り組んでいるので、製品の出し入れに伴う熱損失などを最少にする配慮も必要である。

中型の反応機本体が対象でしかも出し入れでの熱損失が少ないことに配慮して、炉の形状は吊り鐘型を選択した。このため、反応機本体を立てて炉床に置いて焼く方式を採用した。

これはガス焚き直火炉で一番多く使用されていた構造で、容器の外面と炉の内壁の距離が一定となるため、均一な温度分布が得やすい特長を持っている。

炉内へのハンドリングは、炉床を昇降させ挿入機を使って炉床へ製品の載せ換えを行う方式を採用した。これら一連の動作を全自動で迅速に行わせることで出し入れの熱損失を少なくした。

置き焼きで課題となる支持方法については、弊社が長年培った歪みの少ない治具が使用されるとともに、高強度で耐酸化性に優れた耐熱金属が採用されて、熱容量の少ない治具となっている。これは省エネルギーだけでなく温度分布の均一化にも貢献している。炉の断熱材には断熱性の良いセラミックファイバーが使用され一層の省エネルギー効果が得られている。

### 4. 加熱方式

加熱方式には、熱効率に優れしかもクリーンな炉内雰囲気を得られる、熱回収装置付ラジアントチューブを採用した。これまで弊社で使用してきたガス焚き直火炉や電気炉と、経済性や品質面で比較したのが、第1表である。

第1表では、同じ容積で型式も同じもので比較している。これに大型から中型へ変更した効果を加味すると、省エネルギー効果は倍増している。

第1表で示すとおり、熱効率は電気炉に少し劣るが、ランニングコストはエネルギー単価の差(1/3)によりほぼ1/3まで低減できている。品質を左右する浮遊ダスト、炉内雰囲気、温度制御精度などは電気炉と遜色なく、ラジアントチューブの輻射熱が強く、焼成温度域での昇温が早いという副産物も得られた。

### 5. ヒータ設計

ガラスライニング焼成炉は、バッチで使用されている。しかも製品はフルパワーで昇温され、焼成が終われば取り出して大気中で放冷される。このため急加熱冷却が繰り返される過酷な使用条件にさらされる。しかもフルパワー昇温時にも均一な温度分布が要求される。

以上のことからヒータの配置、ヒータのパワーバ

第 1 表 焼成炉の加熱方式  
Table 1 The heating type of the furnace

Comparison of Furnace Heating Systems			
Items to be compared	No.5 furnace with regene type radiant tube	Electric furnace	Gas fired direct heating furnace
[Cost effectiveness]			
1. Unit cost of energy	Gas: 1/3 of electricity	Electricity: Assumed to be 1	Gas: 1/3 of electricity
2. Exhaust gas or electric circuit loss	Exhaust gas loss: 15 %	Electric circuit loss: 10 %	Exhaust gas loss: 70 to 80 %
3. Heat radiation, heat loss to firing base, etc.	Assumed to be 50 %	Assumed to be 50 %	Assumed to be 50 %
4. Heat efficiency	42.5 %	45 %	10 to 15 %
5. Running cost	Ratio to electric furnace: 35 %	Assumed to be 100 %	Ratio to electric furnace: 100 to 150 %
[Quality]			
1. Suspended dust	A small quantity of scale on tubes	A great deal of nichrome scale	Dust folwn up by combustion flame
2. Furnace atmosphere	Inside of furnace clean by combustion within tubes	No gas generated by heating with heater	Products exposed to combustion gases -Affected by SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> . -Glass chipping due to hydrogen
3. Furnace temp. control accuracy	Highly accurate temp. control Accuracy equal to electric furnace -Horizontal direction: ± 5 °C -Vertical direction: ±10 °C (Actual temp.)	Highly accurate temp. control -Horizontal direction: ± 5 °C -Vertical direction: ±10 °C	Uneven temp. occurs in each section.
4. Features	Radiant heat is strong, thus speeding up heating in the firing temp. region.		

ランス、チューブの材質などの設計には十分な検討が必要である。炉の構造とヒータの配置を第 2 図に示す。

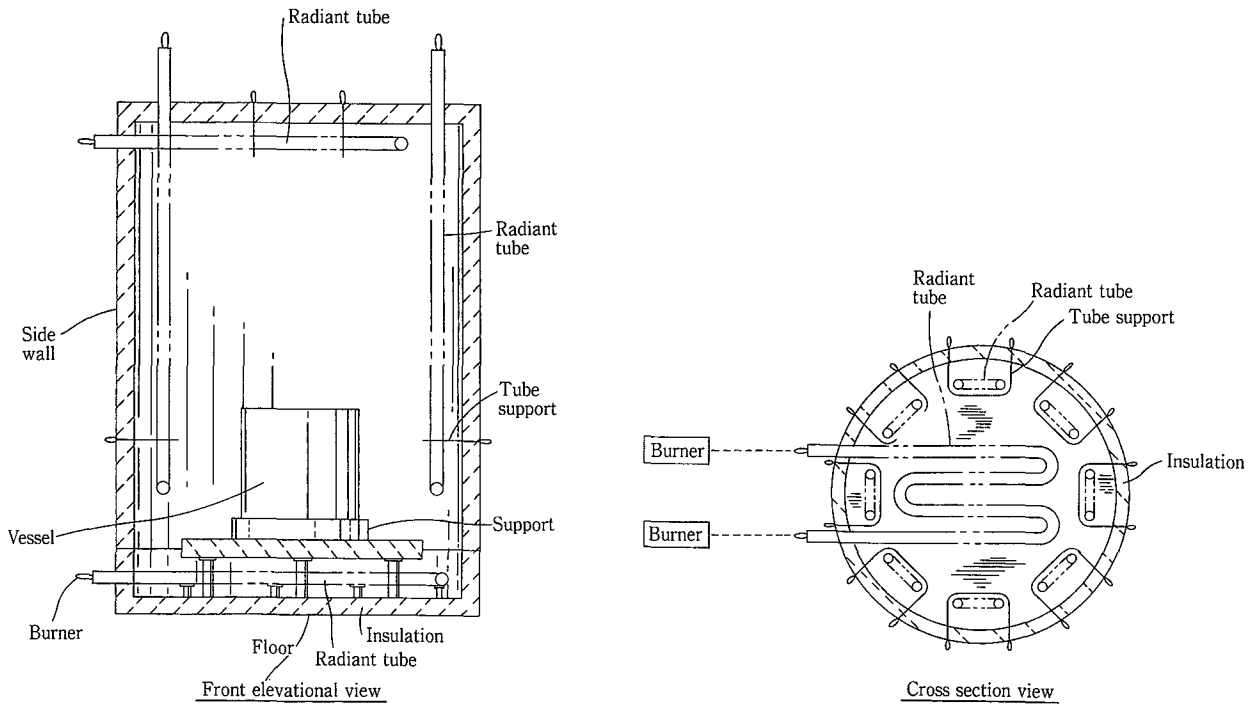
炉内の温度を均一にするため、吊り鐘状炉内の炉床、側壁、天井にラジアントチューブが均一に配置されている。炉床は製品の出し入れ時の冷却、製品を支える治具などの熱容量を考慮してヒートバランスが決められている。

炉内に配置されるチューブの間隔は、第 3 図に示されるように、チューブの放射熱と炉壁の反射熱を

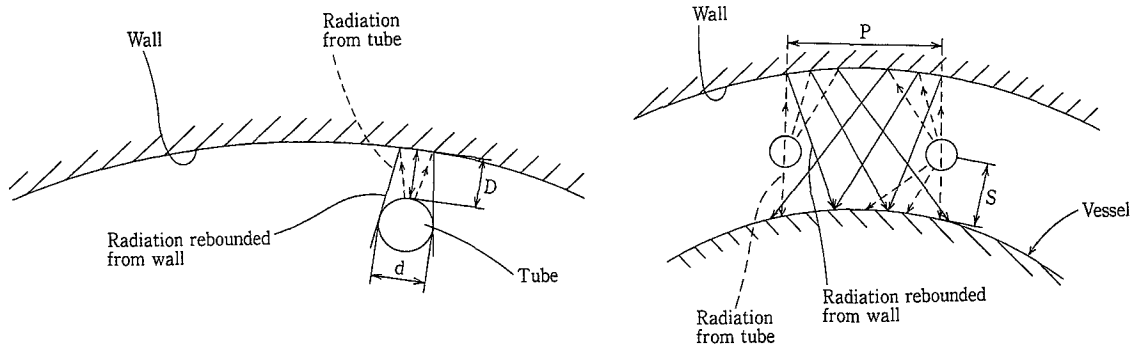
考慮して設計されている。また、炉壁との間隔は炉壁からの反射熱と熱の放散で、チューブがオーバーヒートしない間隔になっている。これらの間隔は、チューブの口径と本数や炉の寸法に関係するので、機能性と経済性の両面から検討が必要である。

以上のことから、チューブの間隔は、 $6 \geq D/d \geq 0.5$  となり、 $6 \geq P/S \geq 0.5$  に設定されれば所定の性能と経済性が得られることが確認された。

珪瑯用の焼成炉では、多くの場合 SUS310S の板まげパイプが使用されるが、グラスライニング焼成



第2図 炉の構造とヒータ配置  
Fig. 2 The structure and heater-layout of the furnace



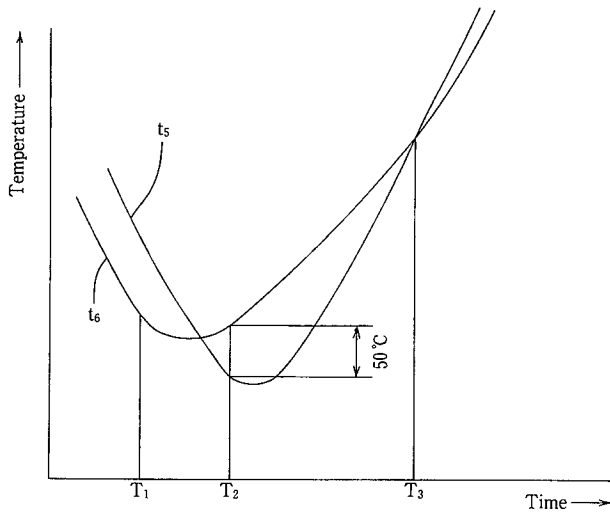
第3図 ヒータ間隔  
Fig. 3 The distance of each tubes

炉では、急加熱冷却を繰り返すためチューブに大きな熱応力が発生するとともに、チューブ温度が1200℃前後に達するので、SUS310Sでは寿命が短くなる。この他工業炉では、HPやHK管といった高ニッケルクロムの耐熱遠心鑄造管が広く使われているが、これも急加熱冷却には耐えられない。しかもチューブの厚みが9mm前後と厚くなり、製品の熱量よりチューブの熱量が上回って熱効率が低下してしまう。そこでこの度は、ジェット戦闘機のアフターバーナーにも使用されている、成分がニッケル、クロム、タングステンで構成される耐熱鋼を

使用することにした。高温強度が高く3mmの析曲げパイプで十分使用可能である。厚みが薄いため温度制御の応答が良く、急加熱での温度制御に最適である。

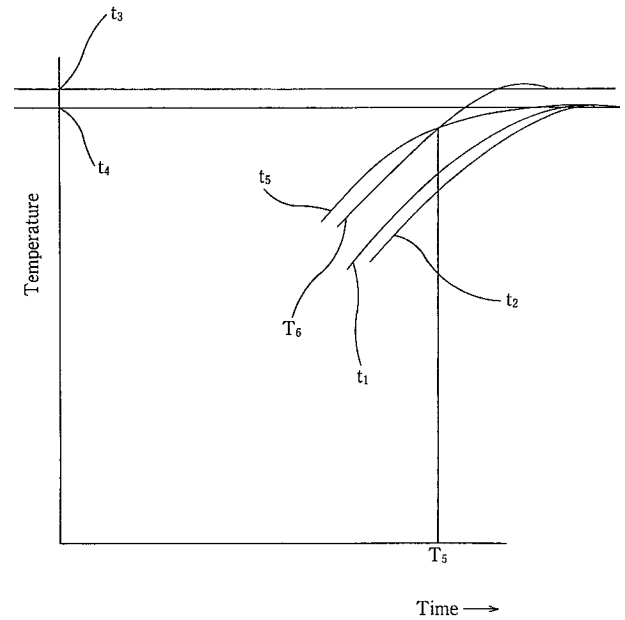
## 6. 温度制御

製品の出し入れに炉床を昇降する際放熱されると、常温の製品と治具が炉床に載せられるので、炉床の温度は低くなっている。そのまま昇温すれば、上下の温度差が開いてしまう。もちろんヒータバランスにも配慮しているが、温度制御でも均一になるよう工夫をした。



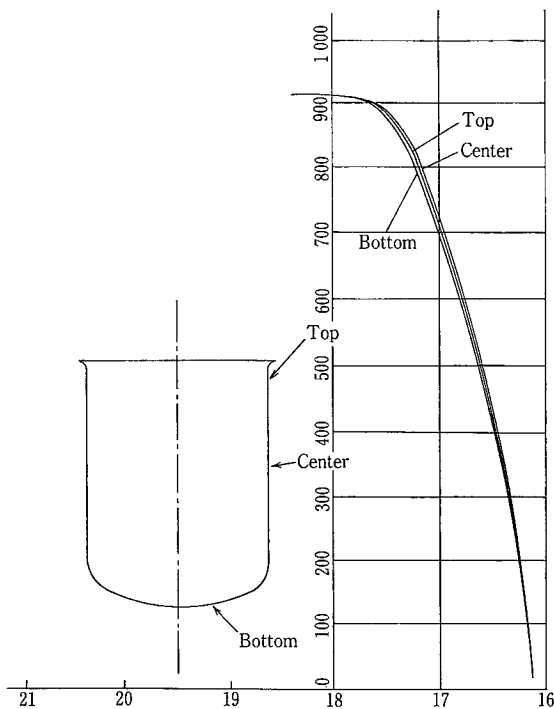
- T1: Time at which the firing of the floor 2 commences
- T2: Time at which the firing of the Furnace body 1 commences  
(Temperature difference: 50 degrees c.)
- T3: Time at which the temperatures of the furnace body 1 and the floor 2 become equal to each other
- t5: Temperature at the side of the furnace body 1
- t6: Temperature at the side of the floor 2

第4図 炉床着火タイミング  
Fig. 4 The firing-timing of floor heater



- t1: Temperature at an upper portion of the article
- t2: Temperature at a lower portion of the article
- t3: Setting temperature of the floor 2
- t4: Setting temperature of the furnace body 1
- t5: Temperature at the side of the furnace body 1
- t6: Temperature at the side of the floor 2
- T5: Time at which the temperatures of the floor 2 and the furnace body 1 become equal to each other

第5図 上下温度差設定  
Fig. 5 The off-set of temperature between top and bottom



第6図 製品の温度チャート  
Fig. 6 The heating-chart of works

第4図に示すとおり、炉床のバーナーを先に着火させ、炉床の温度が側壁と天井の温度を50℃程追いつくまで、側壁と天井の着火時期を遅らせる。昇温時間は少し長くなるが、均一な温度分布が得られた。

立型の炉ではどうしても炉の上方の温度が高くなって上下に温度差が生じる。焼成温度近くでの温度差は製品の品質に影響するので、これを解決する必要がある。そこで温度設定する際に、第5図のように炉床の温度を少し高めに設定するなどして、実体温の上下温度差がなくなるように、各ゾーンでの温度制御を可能にしたシステムを導入した。

温度制御にはPID調節計を使用するが、温度設定は上位のパソコンより与えられるのでこのようなきめの細かい制御が出来る。製品をこの焼成炉で焼

成したときの製品の実体温記録チャートを、第6図に示す。

## むすび

ガラスライニング産業は、製品を高温で焼成するのでエネルギーを多消費する産業である。地球環境がますます大きな問題となってきた昨今では、省エネルギーに努めることが我々の責務といえる。この度の新炉建設はその一つの試みと考えている。弊社ではこの他各種の焼成炉を稼働させているので、この成果を生かすべく次の計画を進めている。

### [参考文献]

- 1) 特許登録番号：特2850229 (平成10年11月13日)
- 2) 特許公開番号：特開平11-23158 (平成11年1月26日)
- 3) 石川正明ら：神鋼パンテック技報 Vol.36, No.2 (1992), p.12

## 連絡先

和田博美  
化工機事業部  
製造部  
生産技術グループ  
グループ長  
TEL0794-36-2503  
FAX0794-36-2506  
E-mail h.wada@pantec.co.jp

沢田雅光  
化工機事業部  
製造部  
GL製造室  
室長  
TEL0794-36-2504  
FAX0794-36-2506  
E-mail m.sawada@pantec.co.jp