

# 木材乾燥装置に関する研究 (第3報)

## シュリーレン法による自然換気式 乾燥室模型内の気流観察について

小 倉 武 夫<sup>(1)</sup>

杉 下 卯 兵 衛<sup>(2)</sup>

寺 澤 眞<sup>(3)</sup>

### I 緒 言

戦後木材乾燥に対する関心はきわめて強くなり、最近いろいろの型式の強制換気式乾燥室が建設されたとはいえ、全国的にみると、現に使用されている乾燥室の型式はその大部分が自然換気式といえよう。これら乾燥室のなかには、設計の不備や操作法（特に棧積法）の不合理的などによつて乾燥ムラをおこし、その結果、不必要な乾燥日数のかかるものや、あるいは速く乾燥しようとして、部分的に割れなどの損傷をおこすものもある。これらはすべて熱気循環の不均等がその原因であつて、自然換気式にみられる共通的な欠点である。

一般にこの型式の乾燥室では気流の循環は空気が吸気口からはいり、加熱管で熱せられ、棧積材間を通過して吸湿したのち、一部は排気され、ほかは再循環されることになる。したがつて、熱気の循環を良好にするには熱源および吸気口、排気口などの容量、大きさ、ならびにこれらの相互の関係位置を適当にしなければならない。従来からこの型式を設計する場合に熱源の容量や排気口の寸法などは計算によつて決定されていたが、気流の循環上最も必要なこれら三者相互の関係位置については、設計上必要な資料が皆無の状態であつたため、その設計にあつては、まったく経験的推測のほかに途がなかつたのである。しかし、実際の乾燥室の中において、熱気の循環を總体的に観察することも困難であり、いわんや熱源、吸気口および排気口などの相互関係位置の最もよい場合を求めんとしても、不可能に近いことといわなければならない。そこでわれわれは、実際の乾燥室について観察をするかわりに、乾燥室の模型を作り、光学的に模型内気流の動きを直接観察することのできるシュリーレン法を用いて、(1) 排気口の位置、(2) 熱源の配列型式、(3) 材の積み方、などが気流の循環にあたえる影響について観察し、それぞれ適当と思われる条件を定めてみた。もとよりこの模型内で観察した結果が、そのまま実際の乾燥室に適用されるかどうかは当然疑問であるが、このシュリーレン法についての実験はすでに数年前におこない、その基礎にもとづいていくたの自然換気式乾燥室を設計改造した結果、従来のものと比較してかなりの好成績を納めることができた。このような理由から、厳密にはこの模型実験が、実際の乾燥室の場合と同一ではないにしても、乾燥室設計上必要な排気口の位置、熱源の配列型式などに対して、多少とも示唆を与えることができると考えられるので、ここに参考となるべき観察写真を取り纏めて発表し、御参考に供する。

本実験をおこなうにあたり、御指導と御便宜とを与えられた東京大学理工学研究所河村助教授、ならびに終始御援助を賜つた斎藤木材部長に謹んで謝意を表する。

(1) 木材部材料科長 (2) 元乾燥研究室長、現在林野庁研究普及課員 (3) 木材部木材加工科乾燥研究室長

## Ⅱ 実験方法

### 1. 実験装置

シュリーレン装置の光学系は種々あるが、ここに使用したのは凹面鏡1個を使用する一致法といわれるもので、その光学系を Fig. 1 に、実験装置を Phot. 1 および 2 に示す。光源 L よりでた光線が集光レンズ C により、Fig. 1 のようにプリズム P の凹面鏡に面した位置に結ばれるようにし、さらに凹面鏡によつて反射された光線が上記のプリズム上の結像面と同一の平面上にふたたびその光源像を結ぶようにしておく。今この光線を凹面鏡の前においた模型乾燥室 S 内の熱気流中を通過せしめ、あらかじめこの模型にピンントを合わせてある写真機 K のピンントグラスにあてる時は、あたかも陽炎のごときものを認めることができる。ここで遮光板 B を結像面におき、通過光線の一部を遮断するときはピンントグラス上に明暗のしまとして判然としたコントラストを生じ、模型内の気流を観察することができる。この方法によつて、次項の模型を用いて設計上必要な資料がえられるような条件を与えて熱気流の状態を観察した。

### 2. 乾燥室模型

乾燥室模型はすべて両面をガラス張りとして、熱源にはニクロム線を用いたが観察の目的により形状をかえられるようにした。椀積材の形状は種々のものを使用した。材の両端に虫ピンをさし、模型内に作つた針金のうけに保持して、椀木使用による気流観察の支障からのがれた。

また、これらの材は生材を使用すべきであるが、材から蒸発した水分でガラス面がくもり観察ができなくなつたので乾燥材を使用した。おのおのの観察に使用した模型は次のとおりである。

#### (1) 排気口の位置と気流循環との関係を観察した模型

Phot. 3 のように奥行の短い模型を使用し、吸気口は床面中央に設け、熱源のニクロム線は支柱の先端に螺旋状としてとりつけ、熱源の巾を模型の間口の 3/4 とした。排気口は 1.5cm 間隔に床面より天井部までに 8 個設け、排気口と同じ寸法の本栓を用意しておき、必要以外の排気口は閉められるようにした。模型の大きさは巾 25cm、厚さ 3cm、高さ 28.5cm、排気口の大きさ 2×2cm である。

#### (2) ヒーターの巾と配列型式について観察をおこなつた模型

(1) と同一の模型を使用し排気口の位置はヒーターと同じ高さとし、ヒーターは螺旋状に巻いたニクロム線を模型の両壁から突出した金具に水平に張り (Phot. 4)、この長さを自由に变化できるようにした。また、山型あるいは谷型ヒーターを配置するには、Phot. 18 のように 2 本の太い針金を両極として、この

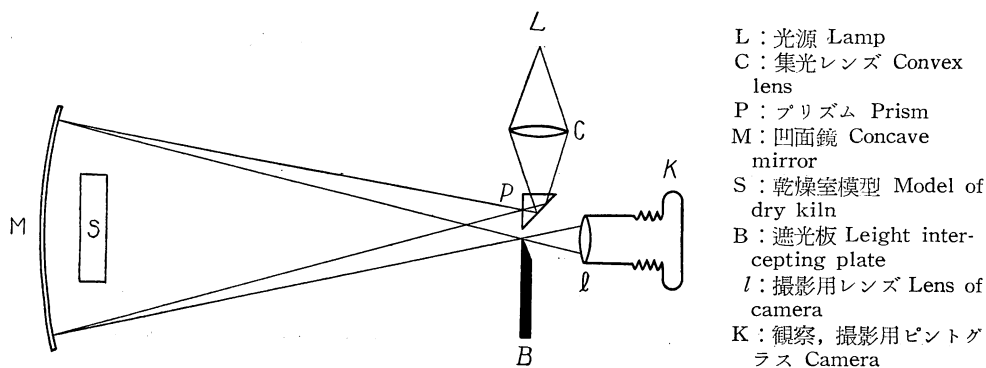


Fig. 1 シュリーレン装置の光学系  
Schema of Schlieren method.

間に螺旋状のニクロム線を取りつけた。

### （3） 棧積方法について観察した模型

Phot. 5 のごとくヒーターを間口の  $3/4$  の長さに保持し、吸気口は中央床部、排気口はヒーターの高さと同一にした。模型の大きさは厚さ  $22\text{cm}$ 、高さ  $37\text{cm}$ 、巾  $35\text{cm}$  である。

### （4） 煙道式乾燥室模型

Phot. 33, Phot. 34 のごとくヒーターは硝子管にニクロム線をまきつけたものとした。Phot. 33 は加熱管が1本の煙道式乾燥室の場合で、Phot. 34 は煙道が乾燥室の奥で曲り、焚口の方へかえった煙道2本の乾燥室をかたどつたもので、煙道の温度が左右で異なるように巻線を加減してある。吸気口は床面中央、排気口はヒーターの高さと同一とした。模型の大きさは奥行  $30\text{cm}$ 、高さ  $35\text{cm}$ 、巾  $21\text{cm}$  である。

## 3. 観察方法

Phot. 1 のように各部品を配置し、模型内のニクロム線に  $10\sim 50\text{V}$  の交流電圧をスライダツクスで与え、模型内の温度が  $60^{\circ}\text{C}$  の一定となるように電圧を調節した。この温度状態での気流循環をビントグラスにより観察し、気流の状態が充分安定したときに撮影した。撮影用レンズは Emil Busch F.  $350\text{mm}$  を使用し、カメラはライカボデーを使用した。フィルムはパンクロフィルム、露出は  $1/60\sim 1/200$  秒で撮影した。

## Ⅲ 観 察 結 果

### 1. 排気口の位置について

模型のなかの気流の動きはヒーターの巾によつて違うので、ヒーターの巾を常に模型間口の  $3/4$  として、これをちょうど中央のところに置いた。

まず、模型の中に材をおかない場合で、ただ熱気の循環という点から、排気口をどこに設けるのがよいかを、Phot. 3 に示した模型をつかつてしらべた。排気口の位置を最底部からつぎつぎと高くして、熱気の循環する状態がどのように変つていくかを観察したが、その結果は Phot. 6~11 に示すとおりである。すなわち、排気口が下にあるほど、ヒーターからの熱気は真直ぐ上にあがり、天井のところでわかれて両側壁にそつて下り、排気口からでるようであるが、排気口が上になると、熱気は直接排気口に向つていのがみられる。木材乾燥としては、熱気はまず部屋の中央部へあつまり、材に温度を与え、湿気を吸収して、側壁にそつて降下して、排気口からでるのが望ましいのであるから、排気口の位置としては、ヒーターの位置よりは高くしないことがよいだろうと想像される。それは、ヒーターから上昇した熱気が、直接排気口の方へすすむよりは、室内になにもおいてない場合でも、熱気が天井部まで上昇してから両側壁にそつて降下する場合の方がよいからである。ただ、排気口が最底部になると、排気される熱気の温度が低くなり、外気との温度差が少なくなつて排気能力が低下するので、その位置はヒーターの高さか、それよりやや低い程度がよいかと思われる。

つぎに、板を中に入れてヒーターからの上昇気流が板の間をとるようにならべて、気流循環を観察した (Phot. 12, 13)。その結果は材をおかない場合とほぼ同様で、排気口がヒーターより高い位置にあると、ヒーターからの上昇気流は板によつてさえぎられ、側壁の方へながれる傾向にあるので、なおさら熱気が直接排気口の方へむかうようである。その一例を Phot. 13 に示したが、熱気が側壁にそつて上り、排気口からでていくのがみとめられる。この傾向は排気口の位置が高くなるほど強くあらわれる。

このような模型による観察から、ただちに実際の木材乾燥室設計の資料をえることはもとより早計であろう。しかし、今までに排気口をいろいろの位置に設けて、その乾燥状態を調べてみたが、これらの経験によると排気口がただ上部にだけある場合は熱気の循環がよくないので、乾燥ムラも多くなるように思われ、この観察による推論と必ずしも矛盾していないので、従来の推論にすぎなかつた点を、この模型実験がむしろ裏付けをした感じがするのである。

## 2. ヒーターの巾と配列型式について

Phot. 4 の模型を用いて、(1) の結果にもとづいて排気口の位置をヒーターの高さに設け、ヒーターの巾だけを変化させて気流の観察をおこなつた。この結果を Phot. 14~17 に示したが、ヒーターの巾が狭いほど気流は中央に集中して上昇するのが観察された。床の全面にヒーターを設けた場合の状態を Phot. 14 に示したが、熱気はヒーター全面からほとんど垂直的に上昇しており、両側の壁面では、この上昇する気流が天井から下降してくる冷却された気流と衝突して、気流の循環を悪くしているのがみられる。したがって、この両側の壁にそつて上昇する気流を少なくするようにヒーターを設けなければならない。このような見地から観察の結果をみれば、ヒーターの巾を間口の  $\frac{3}{4}$  として少なくとも側壁とヒーターとの間に、間口の  $\frac{1}{8}$  だけの空間を設けたときが、順調な循環を示しているようであつた。しかし、これはヒーター上部に棧積材をおかない場合で、棧積材があればヒーターの巾をさらに狭くしないと熱気の循環が悪くなるのではないかと想像される。

このような点は常識的に考えても当然であるが、ただ実際問題として側壁とヒーターの間はたして間口の  $\frac{1}{8}$  だけの空間でよいかが問題であり、この点は実際の観察によつて決めなければならない。

つぎに、ヒーターの配列のしかたについては、従来谷型が良いといわれていたが (Phot. 18)、この方式にするとややもすれば気流が左右にわかれようとなることがみられた。この傾向は特にヒーター中央部に熱源がないときに著しいようである (Phot. 19)。Phot. 19 に使用したヒーターをそのまま逆に山型にしてみたが、熱気はヒーターの面にそつて中央にあつまり良好な循環を示した (Phot. 20)。したがって、この観察結果に関するかぎり、山型に配管する方が無難であるといえよう。

## 3. 棧積方法について

Phot. 5 に示した模型を用いた。排気口の位置をヒーターの高さとし、間口の  $\frac{3}{4}$  の長さのヒーターを中央部に設け、棧積したなかを熱気が通過する状況を観察した。

Phot. 21 のように棧積みのなかに大きな空間をまつたく設けなかつた場合は、棧積の両側では、熱気が板と板との間を上昇しているが、すぐ側方の空間へ流れてしまい、側壁にそつて上昇している。しかし、棧積みの中央部や上部では、熱気はほとんど動かず、停滞しているようである。したがって、この部分の熱気を移動させるには、棧積みの中央部に空間を設け、ここの熱気を誘導させることであると考え、この中央部の空間をしたいに大きくして熱気の循環を観察した (Phot. 22~28)。この結果によると、その空間を大きくするほど循環はよくなり、Phot. 26, 27 に示した場合が最良のようであるが、この空間を極端に大きくして棧積みを二分した、いわゆるダブルトラツクの型式にしてしまうと、熱気は中央部の空間を通りすぎてしまい、棧積みの中の気流はかえつて悪くなつてしまうようである。このようなダブルトラツクの型式の乾燥室は、まだわが国では多いので、この場合の棧積み中の熱気循環がよくなるように、その空間部の真下にあるヒーターだけをとりはずして観察したが、Phot. 29 のように、ただ空間部の熱気上昇が減ただけで、棧積み中の熱気の循環は依然としてあまりよくなつていない。したがって、積み方を

かえて、板と板の間隔をさらに大きくしてみると、Phot. 30 のように、棧積み中では熱気がよく上昇しているのがみられる。また、ダブルトラックの一つの棧積み内で、さらに中央に空間を設けてみたが(Phot. 32)、とくに循環がよくなったようにもみられず、板の間隔をできるだけ広くすればよいと思われる。

要するに、これらの結果から、たとえ設計のよくできた乾燥室でも、材の積み方が適当でないと、棧積内に熱気がよく循環しないことは確実である。事実、木材乾燥をした場合はなほだしいムラが生ずるのは、熱気の循環がよくないためで、この観察結果がそのまま実地に適用されないにしても、積み方に一つの示唆を与えているものといえよう。

#### 4. 煙道式乾燥室模型での観察結果

前にのべたように、この型式の模型では熱源を1本にしたのと2本の について熱気の動きを観察した。室内に棧積み材をおかない場合は、熱源が中央に集まっているため、いずれも気流が真直ぐに上昇しているのがみられるが (Phot. 33, 34)、ただ熱源を2本にした場合は、温度の高い方の熱源から気流が強く高く上昇しているのがみとめられる (Phot. 34)。

棧積材をおいた場合の気流の動きは、これまでのべてきた熱源が模型の巾にたいして広く設けられたいわゆる蒸気乾燥室の模型の場合とは若干ことなつた結果をえた。すなわち、後者の場合では棧積材の中央に煙突状の空間を設けたのが、よい気流の循環を示したのであるが、この型式で同じ積み方をしたのは、放熱管が中央にだけあるため熱気は棧積内の中央の空間に集中し、そこから両側への動きがあまりみとめられず、この傾向は棧積材の下部においていちじるしいようである (Phot. 35)。したがつて、熱源のすぐ上部では空間をあまり広く設けず、板の間隔を小さくして、その両側で板にある程度の間隔を設けて気流の循環を観察したが、Phot. 36 のように熱源の上部では気流が両側へ逃げられ、棧積材内の熱気循環が前者よりもよくなつているのがみとめられる。

このように、同じ自然換気式乾燥室でも、熱源が蒸気であるか、煙道であるかによつて材の積み方を考慮しなければならないものと思われる。

### IV む す び

以上の模型による観察結果から、自然換気式乾燥室の設計にたいして参考となることは、

1. 熱気の室内循環をよくするには、排気口の位置と熱源とほぼ同じ高さにするのが適當である。
  2. 熱源は乾燥室の巾にたいしてほぼ  $3/4$  以下の広さに敷設して、熱源の両端から壁面までには乾燥室巾の  $1/8$  くらいの空間をおくのが適當である。
  3. 熱源の配管のしかたは水平にするか山型にするのがよい。
- などであり、乾燥操作のうえから棧積み法を適切にするには、
4. 熱源に蒸気をつかつた自然換気式乾燥室では中央部に空間を設け、板と板の間隙もなるべく上下方向にそろえたものがよく、
  5. 煙道式乾燥室においては、熱源のすぐ上部だけは板と板との間隙を小さくし、その両側ではこれを大きくしたのがよい。

などの点を考慮しなければならないことを知つたのである。

これらの点はあくまでも模型実験によつて観察された結果であるから、実際の乾燥室においてはたしてこれと同一になるかはまつたく疑問である。しかし、この観察結果をえてから現在に至るまで数年間、実

地に応用してみた経験では、この観察結果を参考にして作られた乾燥室は少なくとも従来の根拠に乏しい経験のみによつて改造し、また設計したものよりは良好な乾燥をすることができたものと確信しているので、この観察結果も、実際への有力な指針となるものといえよう。

#### 参 考 文 献

- 1) Hubert Scharadin: Das Teplärche Schlieren Verfahren VDI Forschungschaft (1934)  
p. 367.
- 2) 玉本章夫: 温度場の光学的測定法について, 航空研究所彙報 1~6, Sept. (1932).
- 3) 杉下卯兵衛: 乾燥室内気流観察の一方法, 日本林学会誌, 32, 2, (昭 25) p, 31~35

Takeo OGURA, Uhei SUGISHITA and Shin TERAZAWA:  
Studies on the Drying Equipment for Woods. (3)  
The observation of air current in model naturally ventilated dry kilns  
by means of the "Schlieren method".

### Résumé

#### 1. Introduction

The naturally ventilated kiln is inadequate for drying boards evenly. The reasons why it cannot dry them evenly in this type perhaps exist in the fact that a difference of temperature occurs in the kiln, because the hot air cannot circulate evenly throughout the kiln. But, most of the drying kilns in Japan are of the naturally ventilated type, so we must ascertain how to improve this type of kiln, that is, where to place the fresh air inlet, the moist air vent and the heater. We cannot directly observe the hot air currents in kilns without any special provisions; therefore we observed the air currents in the model dry kilns, which were made similarly to the naturally ventilated dry kiln itself, by means of the "Schlieren method" and took many photographs.

According to these photographs we have been able to decide roughly the following items, and to obtain some fundamental data for the design of naturally ventilated kilns.

1. Where to place the vents
2. The width and shape of the heater
3. How to pile the boards.

We certainly have some doubts in applying the results observed in model kilns to the dry kilns used in practice, because there are many differences between them; for instance, the size of kiln, the temperature of heater...the temperature in model kilns is higher than that in dry kiln used commercially...the moisture content of boards piled there (the boards in models were dried very well: when the moist boards were used, we could not observe the air flow in models owing to the moisture which had evaporated from the boards and condensed on the glass of the model), and the Renold's numbers. But we feel justified in presuming to some degree the course of the air currents in commercial dry kilns from the results observed in model kilns.

#### 2. The relation between vent position and circulation.

Observations in regard to the relation between vent position and circulation.

In the case of no charge in the kiln, the higher a vent is placed above the floor, the lower the thermal efficiency is, because the hot air, which is in a dry condition and has yet the faculty to allow the moisture in wood to evaporate, directly exhausts through the vent.

In the case of piling the boards, too, the same observation was made. Here again, with the vent in a high position we noticed that the higher the position of the vent, the lower the thermal efficiency became. This is because the hot air rises upwards along the side walls, and prevents the moist air from coming down. When the vent is placed near the heater, the moist air flows downwards along the side wall and exhausts through the vent.

Consequently, from the results described above, we conclude that the most suitable position for the vent is about the same height as the heater itself.

#### 3. On the width and form of heater.

In this case we observed how the hot air circulates in the model kiln in which the vent was always placed at approximately the same height as the heater, and the length of heater was gradually shortened every time one observation was over.

Observations

As is verified by these photographs, it has been ascertained that it is better to concentrate the heat as near to the center as possible, and the heater's length should be certainly less than  $\frac{3}{4}$  of the kiln-width, otherwise if the heater exceeds this length the hot

air rises upwards throughout the length of heater and prevents the moist air from coming down along the side walls. This we found when the kiln was not charged.

In the case of the kiln being charged the heater should be placed much nearer to the center, because the hot air has difficulty in rising upwards and keeping to the center; and is apt to spread widely.

We have not experimented with commercial kiln installations as to whether the heater should be placed within  $3/4$  of the width of kiln, but we are able to presume approximately where to place the heater in them by our findings described above.

As regards the shape or form of heater, we think the V-form is usually the most suitable. But, if there is a lack of heat in the middle part of the heater (for instance in such a case as we cannot place heater only in the center part for some reasons) the reversed V-form is better than the V-form, because the hot air rises upward and, we found, concentrates more to the center in the case of the former.

#### 4. How to pile the boards.

The model kilns used in these observations are shown in Photographs. The vent is always placed about the same height as the heater, and the heater is placed within  $3/4$  of the width of the model kiln.

##### Observation

In the case of piling the boards in the kiln, the hot air does not rise upward evenly, but is apt to spread widely. The more the boards are placed closely together, the more the hot air has difficulty in rising upwards, because the resistance against rising upwards becomes strong. Therefore, however suitably the heater may be placed, the hot air can not have a good circulation when the piling method is not suitable for the circulation of hot air. To prevent such bad circulation, it is necessary to make a chimney in the center of the piled boards. But, in this case, if the chimney is made too wide, the hot air will concentrate in excess into this chimney and the air flow from the chimney downwards and over to both side walls becomes difficult. So, the boards must be piled in such a way as to allow the hot air to rise upwards throughout the piling by means of placing some boards on the upper part of this space which we have called the chimney.

In the case of having parallelly two piling trucks in kiln, of which type there are many kilns in Japan, only the middle part of the heater, above which the boards are not piled, must be removed, or we must devise other means to prevent the hot air from rising upward there.

#### 5. The furnace type dry kiln.

We observed the air currents in the models of furnace type kilns which are constructed in many places in Japan, because the cost of their construction is comparatively cheap.

We used two models in these experiments, the one has one smoke tunnel placed at the bottom in the center as is shown in photograph No. 33, the other has two smoke tunnels placed parallelly near the center. See photograph No. 34.

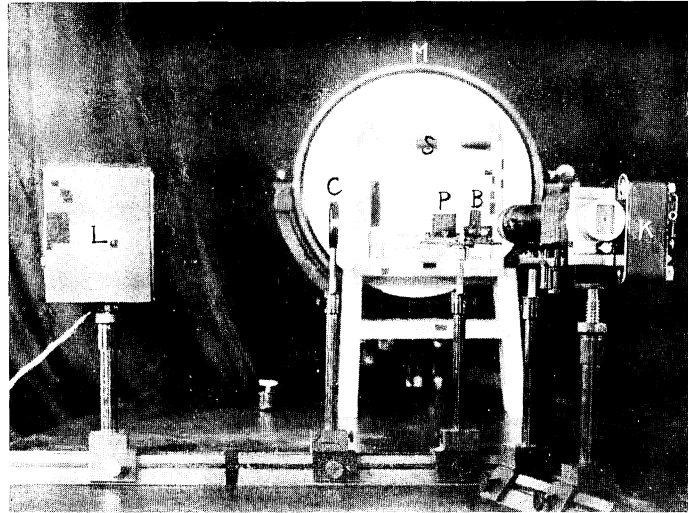
##### Observation

In the case of no charge in both models the hot air is observed to rise upwards concentrating towards the centre.

Even in the case of a charged kiln, the hot air is apt to rise upwards vertically, therefore it seems to be necessary to induce the air current to spread before it goes upwards into the piled boards and to allow it to pass throughout them.

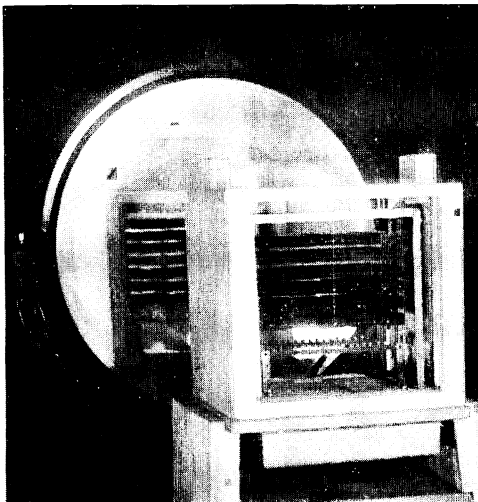
To do this, there is no way except to place the boards at very small intervals between them as far as the upper part of the smoke tunnel is concerned, and rather more widely on the other part.





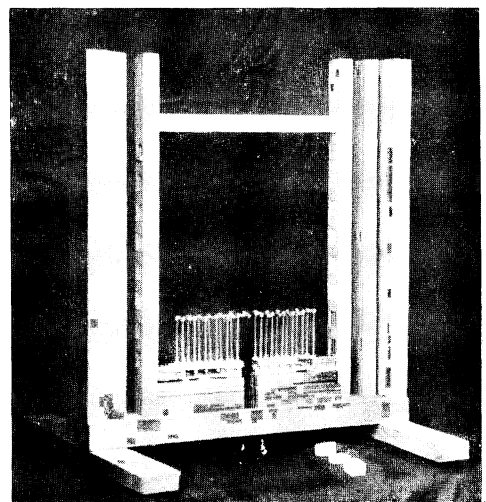
L : 光源 Lamp house  
 C : 集光レンズ Light collecting convex lens  
 P : 直角プリズム Prism  
 B : 遮光版 Light intercepting plate  
 S : 乾燥室模型 Model dry kiln  
 M : 凹面鏡 Concave mirror  
 K : カメラ Camera

Phot. 1 シュリーレン装置の機械配置を示す。  
 Instruments used by Schlieren method.



Phot. 2

凹面反射鏡と模型乾燥室との関係位置を示す。  
 This picture shows how the model is set  
 before the concave mirror to take  
 photograph by the Schlieren method.

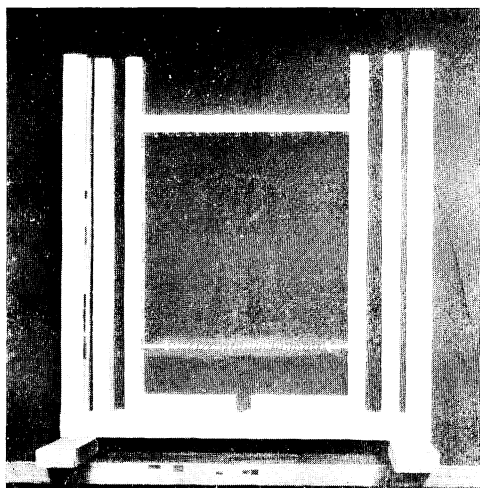


模型の大きさ Model size

幅.....	Width of model	25 cm
厚さ.....	Thickness	3 cm
高さ.....	Height	28.5 cm
排気口の大きさ..	Vent size	2×2 cm

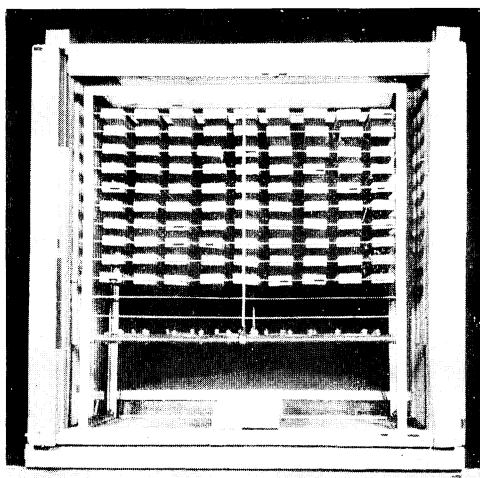
Phot. 3

排気口の位置と気流循環との関係を観察した模型。  
 This is the model in which we observed  
 the air currents and took photographs as  
 regards the relation between vent position  
 and air circulation.



Phot. 4 ヒーターの幅と配列型式について観察をおこなった模型。

This is the model in which we conducted the experiments to determine the width and form of the heater.

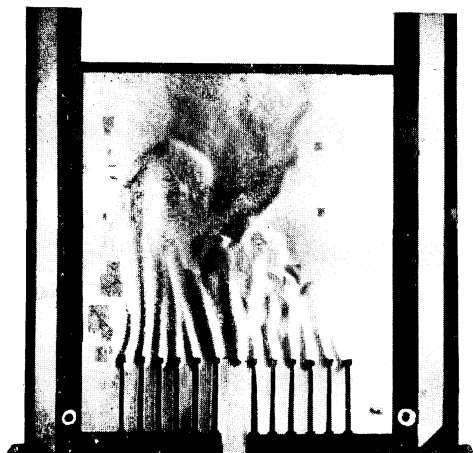


Phot. 5 棧積方法について観察した模型、排気口の位置はヒーターの高さ。

模型の大きさ Model size	
厚さ.....Thickness	22 cm
高さ.....Height	37 cm
巾.....Width of model	35 cm

This is the model in which we conducted the experiments on the piling methods. Vent position: About the same height as the heater.

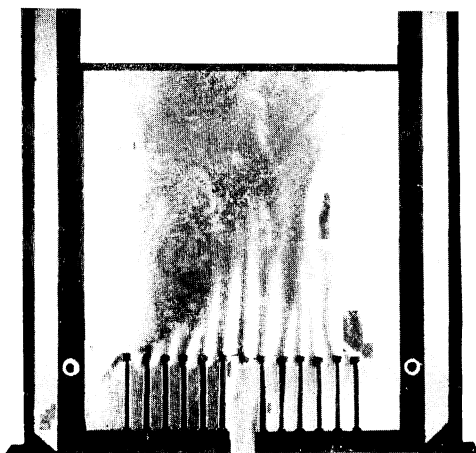
Heater's length: Less than  $\frac{3}{4}$  of the width of the model.



Phot. 6 ○印は排気口の位置を示す。天井中央部に向って上昇した気流は左右の壁体にそって下降し、排気口より室外に出るが温度差が小さいため排気量が少なく、写真にはとれない気流循環はよい。

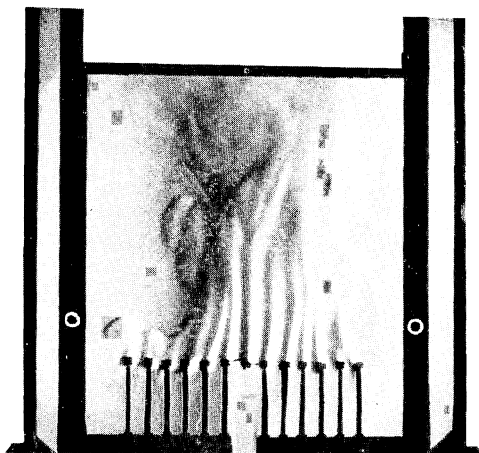
This shows that the hot air rises towards the central part of the ceiling, comes down along the side walls and then exhausts through the vent.

(Mark ○ shows the vent position)



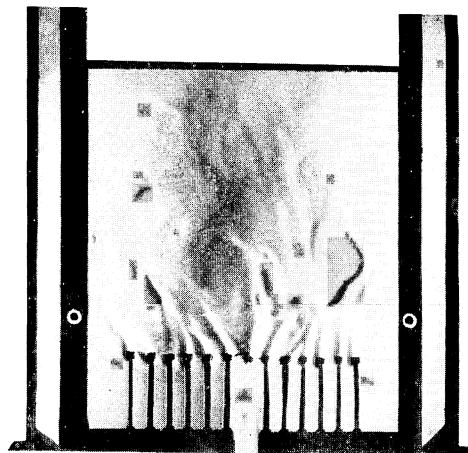
Phot. 7 気流はおおむね直上昇し、両壁面にそって下降し、排気口より放出されている。気流循環はよい。Phot. 6 と同じ循環をしている。

The air current generally rises vertically, comes down along the side walls and exhausts through the vent. This shows approximately the same circulation as Phot. 6.



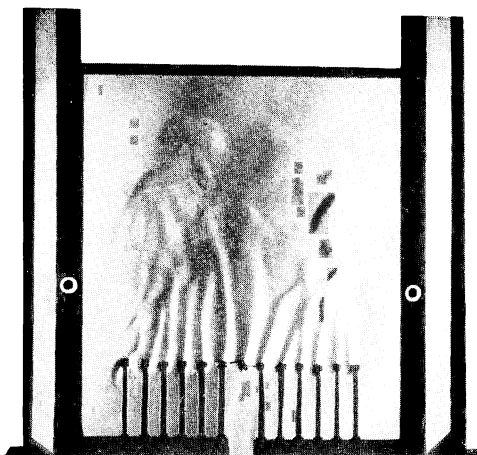
Phot. 8 排気口がこの位置になると気流循環は不定流となる。気流の全部が直上昇する場合とその一部が直接排気口に行く場合があり、両者が交互に現われる。この写真は直上昇した正常循環を示すものである。

When the vent is placed at a little higher part like this, the air current takes the different course from that shown above. This shows that the hot air rises upwards straightly, but does not come down to the vent along the side walls.



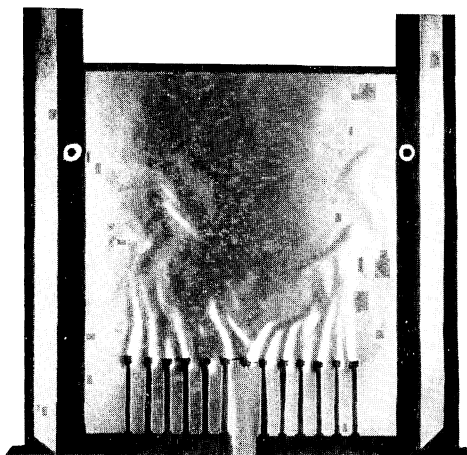
Phot. 9 排気口の位置は Phot. 8 と同じであるが上昇気流の一部が左右の排気口に直接向っている状態を示す。

This shows that a little bit of the hot air moves towards the vent and exhausts there directly.



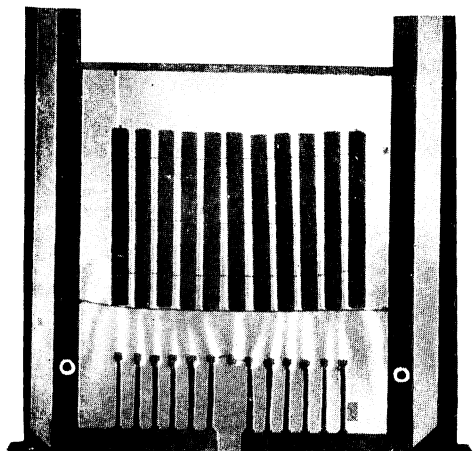
Phot. 10 気流の一部はおおむね排気口に向つて分裂して上昇するが、きわめて瞬間的に写真のごとく直上昇することがある。

In the case of placing the vent at the position like this, usually the greater part of the hot air directly exhausts through the vent. But, we can sometimes observe such air current that the hot air rises upwards straightly for a moment as is shown in this phot.



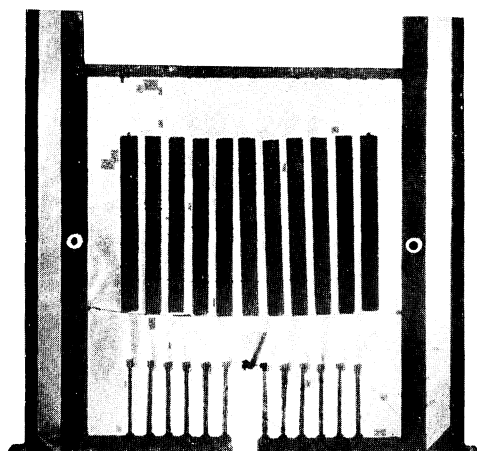
Phot. 11 気流は分裂して直接排気口に向つて上昇している。排気ははげしく、排気口のところに気流が認められる。

This shows that the hot air rises upwards, moves splitting towards the both vents and exhausts through there. Therefore, the thermal efficiency is lower than any other case.



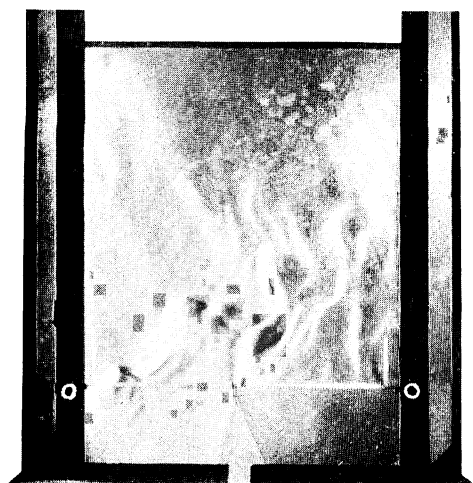
Phot. 12 ヒーター上部に棧積み設けた場合、板にそつて下降してくる気流が両側に見られる。

Even if the boards are placed above the heater, the hot air rises upwards through the boards and comes down along the side walls in the same way as the Phot. 7.



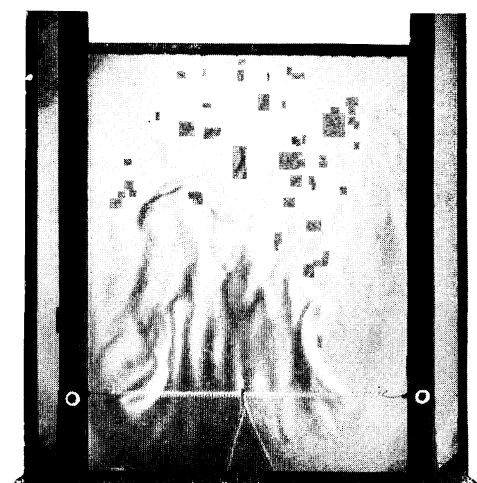
Phot. 13 上昇気流の一部が直接排気口に向つて上昇するため、下降気流をさまたげている。

In this case the vents are placed at the position like this. This shows that a part of the hot air rises upwards along the side walls, consequently it prevents the air currents coming down along the side walls and exhausting through the vent.



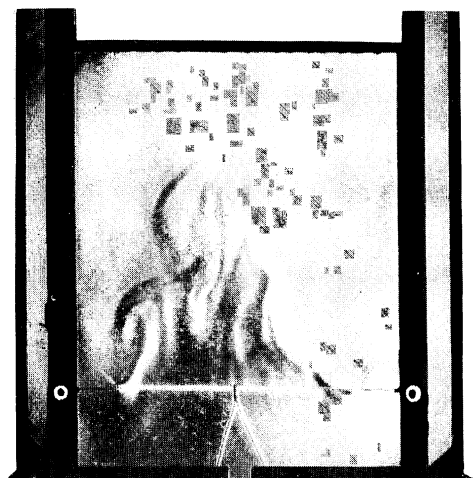
Phot. 14 側壁面とヒーターとの間隔 1.5 cm 壁際までヒーターがあると壁面にそつてきた下降気流とヒーター両端からの上昇気流とが衝突してよい循環をしない。

The space between the wall and the end of heater is 1.5 cm respectively. When the heater is settled near by the side walls like this, the hot air does not suitably circulate, because the hot air rises upwards along the side walls and it prevents the air current coming down along the side walls.



Phot. 15 側壁面とヒーターとの間隔 2.0 cm. 直接壁面にそつて上昇する気流が左方に認められる。

The interval between them: 2.0 cm. We can observe the hot air rising a little more upwards than in the case of Phot. 14.



Phot. 16 側壁面とヒーターとの間隔 3.0 cm  
ヒーターと壁との間隔が間口の 1/8 以上になると  
気流は中央にまとまって上昇しはじめる。下降気  
流は両壁面にそつて下り、正常な循環をしている。

The interval: 3.0 cm

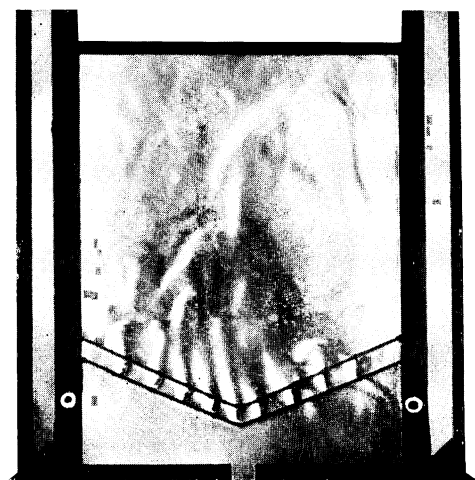
When the heater's length are less than 3/4 of the kiln-width, that is, when the intervals between the side walls and the end of heater are kept more than 1/8 of the width, the hot air circulates so suitably. Namely, the hot air rises upwards, keeps to the center and comes down along the side walls.



Phot. 17 側壁面とヒーターとの間隔 4.5 cm.  
Phot. 16 とだいたい同じ気流状態であるがさらに  
中央に集中している。

The interval: 4.5 cm.

This case shows the air current concentrates to the center as well as in the case of Phot. 16.



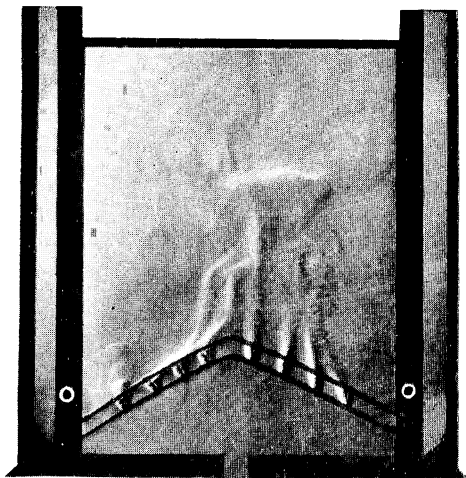
Phot. 18 谷型に配列した場合の気流写真。  
ヒーターからの熱気は室の中央に向つて上昇し、  
下降気流は壁面をそつて下降してくる。正常循環  
である。

The heater is settled in the V-form as shown in this Plate. The hot air rises upwards, moves towards the center of kiln. This shows the suitable circuration of hot air.



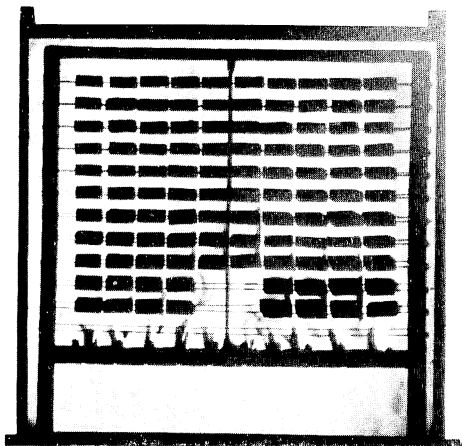
Phot. 19 中央部にヒーターの無い時、気流は左  
右に二分され下降気流をさまたげる。

This shows that when there is a lack of heat in the middle part of the heater, the hot air is apt to divide into two parts and prevents the air current coming down along the side walls.



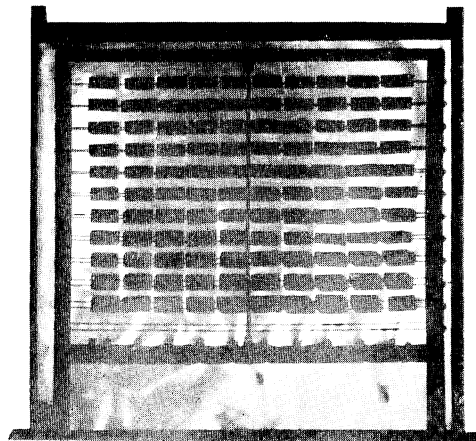
Phot. 20 山型に配列した場合の気流写真。  
中央にヒーターがなくとも気流はヒーターにそい  
中央に向つて上昇する。

When there is a lack of heat in the middle part of heater, this seems to show that the hot air rises upwards along the heater's line and circulates suitably, if the heater is settled in the reversed V-form like this.



Phot. 22 中央部の空間に気流が集中するためか  
棧積の左右上部では上昇する気流はあまり認めら  
れない。

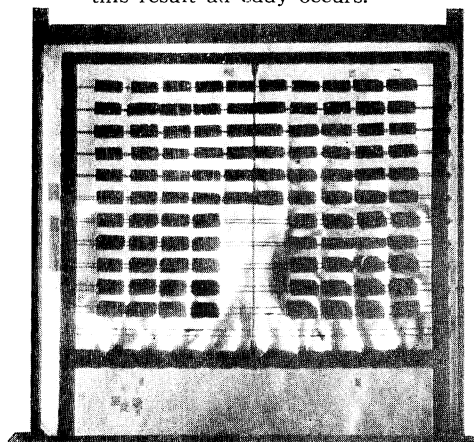
This shows that the hot air concentrates to the space settled in the piling (this space is called the chimney in the following), but the air current does not be found at the upper part of the both sides of the piling.



Phot. 21 気流の一部は棧積外周部を上昇してい  
る。また材積内の横方向の流れも左右両端に近い  
ところでは見られるが中央上部には無い。ヒータ  
ー下部の乱れているのは吸気口よりの入気と下降  
気流とを示す。

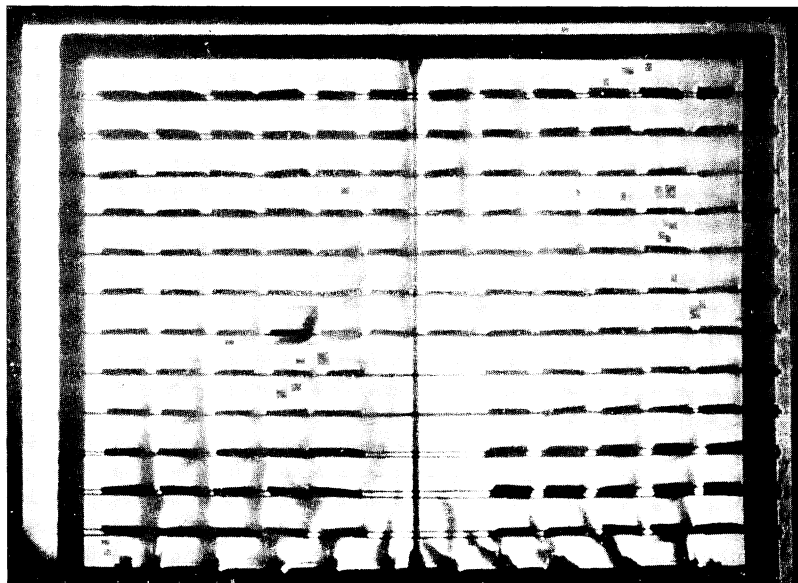
In the case of piling the boards without any space in the center like this, we can find the hot air rising upwards around the piled boards and the air currents moving towards the side walls in the piling, but we cannot find any current at the upper part in the piling.

The irregular air current observed beneath the heater is because of the fact that the fresh air enter from the inlet and as this result an eddy occurs.



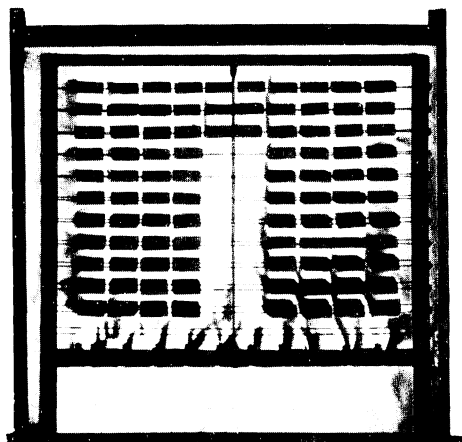
Phot. 23 棧積最上部付近の循環はあまり良くない。  
中央空間に入つた気流が空間天上部で左右に  
わかれ棧積両側から流出しているのが認められる。

This shows that the hot air rises upwards mainly along the chimney in the piling, turns its direction at the ceiling of it, passes through the spaces between the piled-boards and comes down along the side walls. But, we cannot find any air current at the upper part of the both sides of the piling.



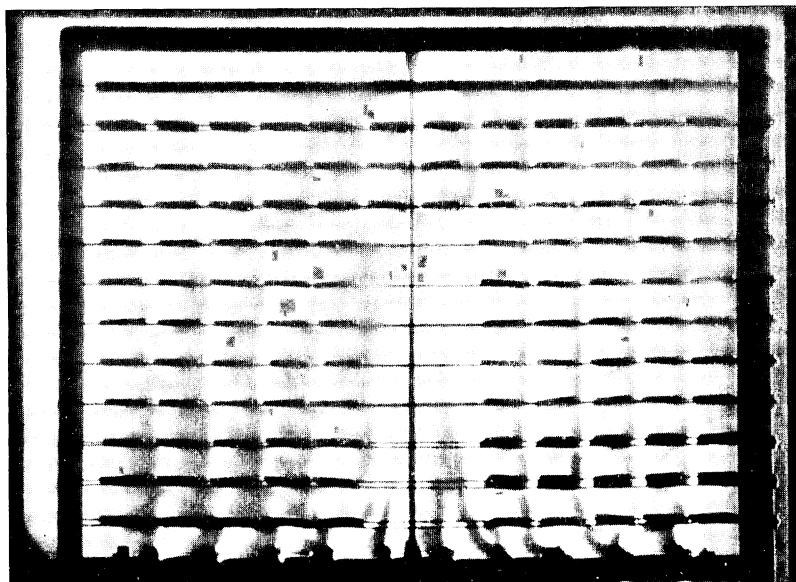
Phot. 24 この写真は前の場合より薄い板を積んで写したものである。中央空間上部の気流は良好であるが、上部両端の気流はやはり不じゆうぶんである。

In this case the thinner boards than that in the above are piled. We can find the hot air to rise upwards in the chimney and the intervals in the piling except the both upper corners of the piling.



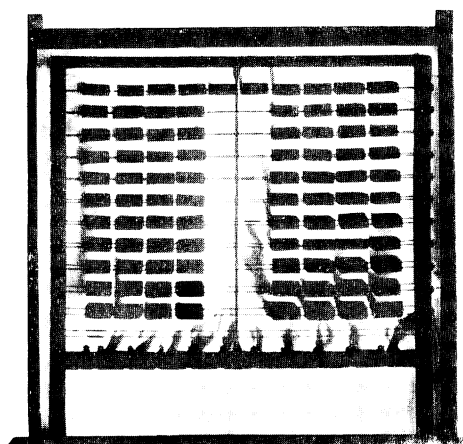
Phot. 25 材積両側からの熱気の流出が良く認められるから棧積内の横気流も良いと思われるが、棧積上部の両端はあまりよくない。

It is possible to say that this case is in the good condition. This is because the air current passed out from the spaces between the boards of the both sides almost evenly and come down along the side walls can be observed clearly. But, so far as concerns the upper both sides the air current is not yet so good as the other.



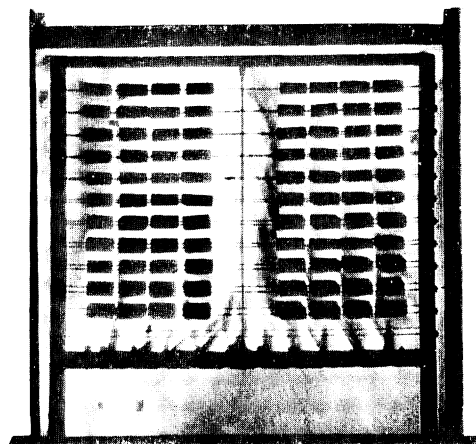
Phot. 26 棧積全体に気流が分布されている。水平方向の気流も認められ最も理想的な積み方であると判定せられる。

The good air current can be found throughout the piled boards. The hot air seems to move towards the side walls in the spaces between the boards, too. Consequently, in this case, such piling method like this seems to be the most suitable.



Phot. 27 棧積内部の気流状態は Phot. 25 よりさらによくなっているが収容石数が減少することが欠点である。

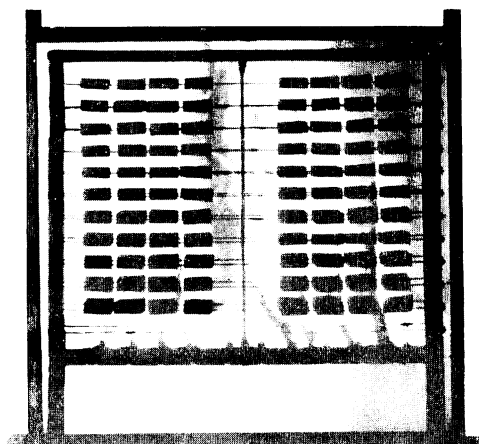
The condition of the air current in this case is comparatively better than that in Phot. 25. But, in this case, appears such a defect as the amount of the boards piled there results in decrease. The fog at the left side is the cloud of the model-glass.



Phot. 28 ダブルトラックの場合、床全面にヒーターがあるため気流は中央の空間に集中し棧積内部に直上する気流は少ない。

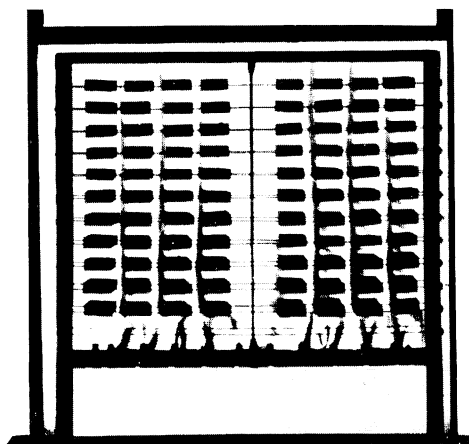
In the case of having paralelly two piling tracks and placing the heater at all over the width like this, the air current seems to concentrate mainly into the space between two tracks and to rise hardly upwards in the piling.





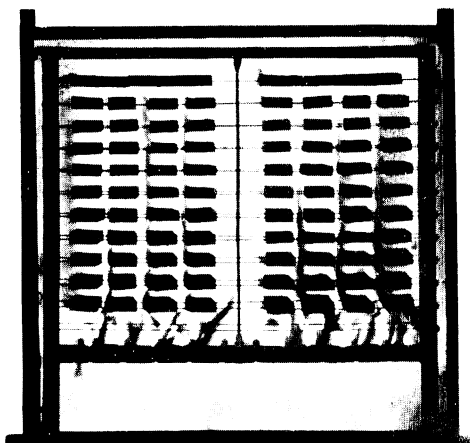
Phot. 29 中央部のヒーターを取りのぞいたもの、棧積方法は前と同じ。ヒーターをのぞいたため中央空間への気流は減つたが棧積内への気流はよくなつていない

In this case, only the middle part of the heater, above which the boards are not piled, are removed. But, even in this case the air current seems to concentrate mainly into the space between tracks and not to rise upwards in the piling in the same way as that in Phot. 28.



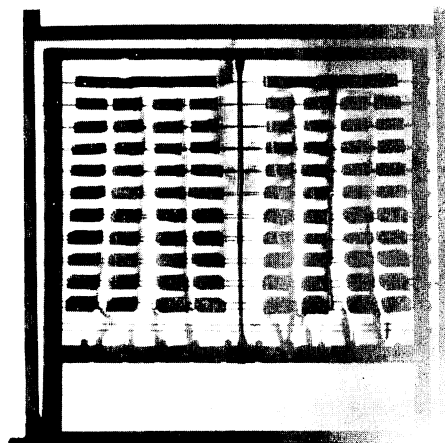
Phot. 30 材積の板間隔を広くした場合中央空間への気流はなくなり棧積内の上昇気流はよく認められる。

In this case, . . . removed the middle part of the heater . . . the intervals between the boards are somewhat lengthened as shown in the phot. 29. We can observe the air current rising upwards in the each interval between boards in the piling, consequently, we can hardly find the air current to move towards the chimney between the two tracks.



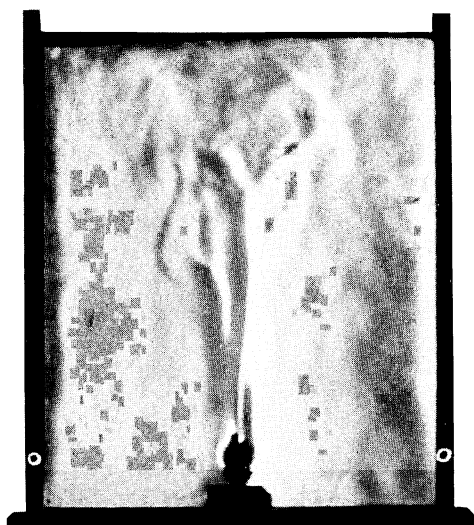
Phot. 31 最上段の板を密着させた場合。両棧積内部へ気流が少し現われている。

When the boards only on the top of each track are closed together side by side, a little air current moving towards the chimney between two tracks from the space between the piled-boards can be found.

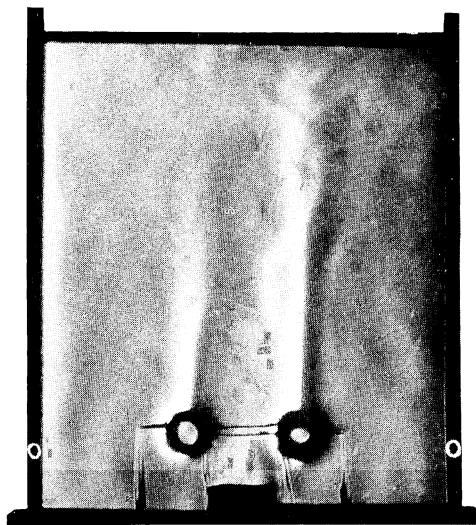


Phot. 32 各材積内に中央空間を設けた場合。特別に効果は認められない。ただし、これは棧積全体の板の間隔が比較的広いためと思われる。

Moreover, when only the middle intervals in each piling are a little more widened as shown in this plage it seems to be unnecessary to keep the intervals of the other parts so wide as in Phot. 31.

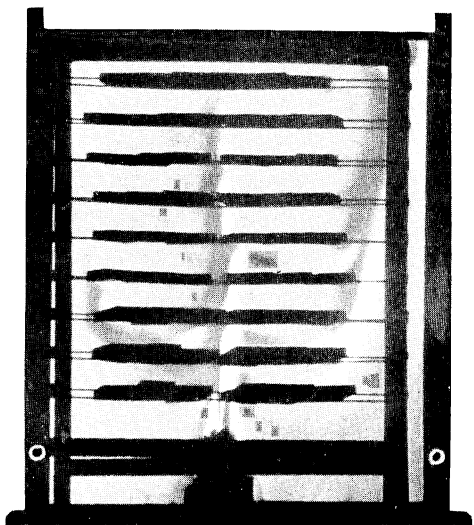


Phot. 33 煙道式乾燥室模型による気流写真。  
This shows the air current in the model of the furnace type kiln, in which one smoke tunnel is placed as the heat's source at the bottom in the center. The smoke passed through this tunnel exhausts to the outdoor through the chimney.



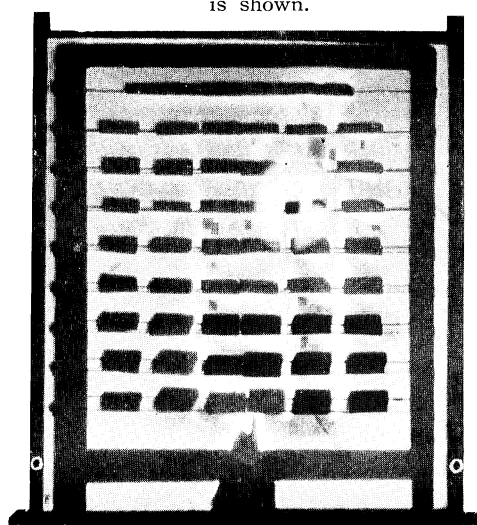
Phot. 34 煙道式乾燥室模型による気流写真。  
煙突は室内で彎曲してふたたび焚口上部に戻る場合。左右の煙道の放熱量が異なる場合の気流写真を示す。

The air current in the furnace type's model, in which two smoke tunnels are placed at the bottom near the center, is shown.



Phot. 35 煙道式乾燥室で放熱器が中央に一本の場合、その温度が高いため上昇気流は中央部に一本強く力強く立ち昇ろうとする。棧積中央に楔型の開孔をもうける時はさらにこのけいこうを強くして、左右下部の加熱がおこなわれなくなる。

The air current extremely rises upwards vertically, because the temperature of the smoke tunnel is very high. When the boards are piled with the A-form's space in the piling, this tendency of the air current becomes stronger and the hot air is apt to rise only into the A-form's space. Consequently, the hot air does not seem to move to the lower part of the piling.



Phot. 36 ヒーター直上部の板間隔をせばめたためヒーターからの気流は左右におしひろげられて比較的均一に分配されている。

In the case of placing the boards at very small intervals between them so far as concerns the upper part of the smoke tunnel and rather more widely on the other part, the air current spreads widely and rises upwards in the each interval almost evenly.