

乾燥装置に関する研究

第2報：自然換気式乾燥室の排気筒に就いて

Takeo OGURA, Kamoya ÔNUMA: Studies on the drying equipment for woods.
(2) On the ventilating chimney in the natural ventilated kiln.

農林技官 小倉武夫
農林技官 大沼加茂也

I 緒言

自然換気式乾燥室の最も重要なことは熱気の循環であつて、吸気道及び排気口と、熱源との相互的な位置に関係する事は謂う迄もない。このうち吸気道に関しては既に第1報として報告した。

排気筒も亦吸気道と同様に自然換気式乾燥室の主要な因子で、例えば排気筒の乾燥室内に於ける口、即ち排気口に就いてもその位置は熱源の位置と相伴つて熱気の循環に著しい影響を与え設計上極めて重要であるにも拘らず、単に経験上の推測によつて定められているに過ぎず、此等に関する設計資料は全く乏しい状態にある。茲に於いて自然換気式乾燥室の排気筒設計に関する資料を多少たりとも作る可く実験を試み、三の結果を得たので発表する。御参考になれば幸である。

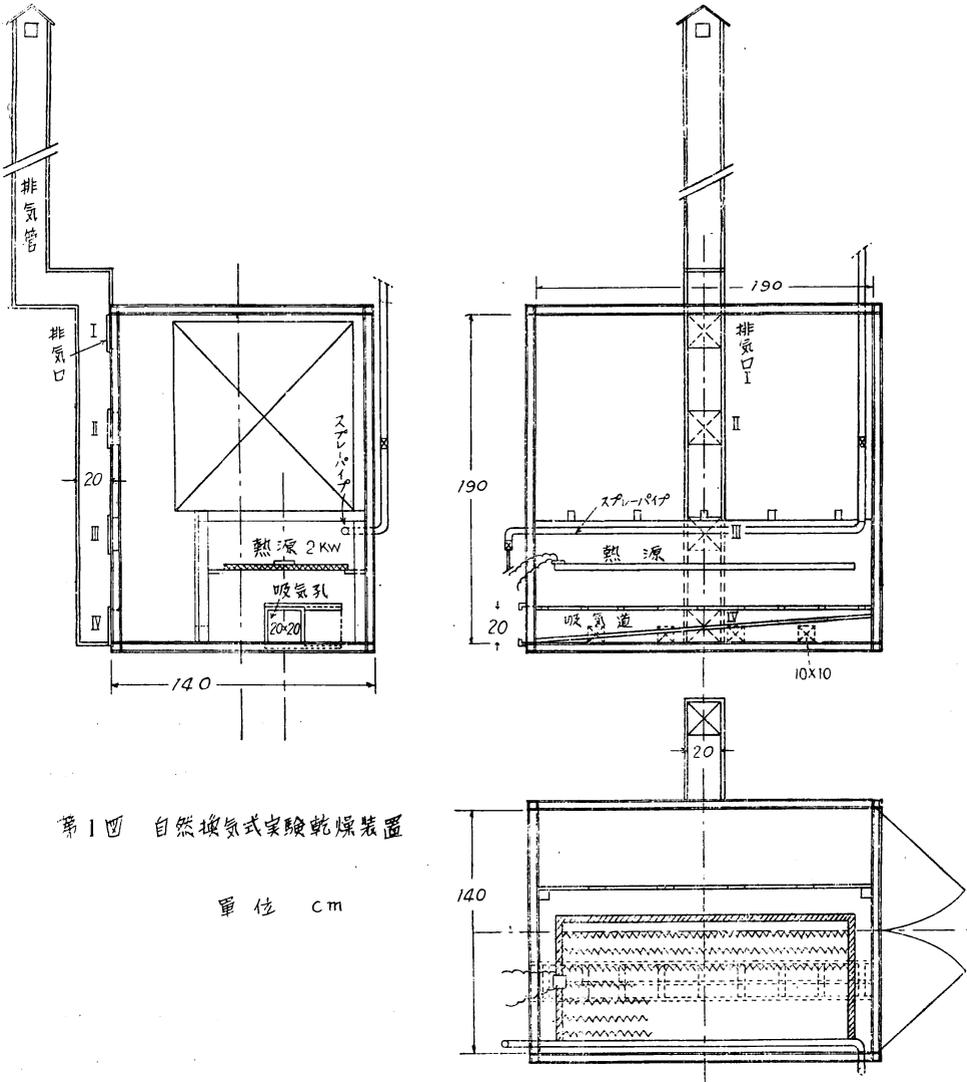
本実験に関し終始御援助を賜つた斎藤木材部長に謝意を表す。

II 実験方法

実験装置 装置は第1図に示した長さ1.9m、幅1.4m、奥行1.9mの二重羽目板張りの木製小型自然換気式乾燥室で熱源には2kwのニクロム線を用ひ、特に排気筒に関する実験が試みられる様に設計したものである。即ち排気筒の通気力に変化が与えられる様に筒の高さは天井の上で2mから約4mまでの範囲内で可変とし、排気口（排気筒への入口）の適当な位置を見出す為に図の如く4個所に設けた。

実験法 排気口の適当な位置を求める手段として温度分布を測定した。その方法は乾燥室内中央部の温度が一定温度（50~60°C）になる迄放置してから温度分布を測定し、次に排気口を開けた為の温度分布の変化を、排気口を開けてから熱気が流れ定常状態になり、各位置の温度が変らなくなつてから求めた。温度測定には凡て銅-コンスタンタンの熱電対を用ひ、室外からその感温部のみを移動させて行つた。

亦、排気口の位置、空気の条件及排気筒の高さ等の排気量に対する影響は排気口に於ける風速を測定して求めた。風速の測定には第1報で述べた熱線風速計を用いた。



第1回 自然換気式実験乾燥装置

単位 cm

III 実験結果

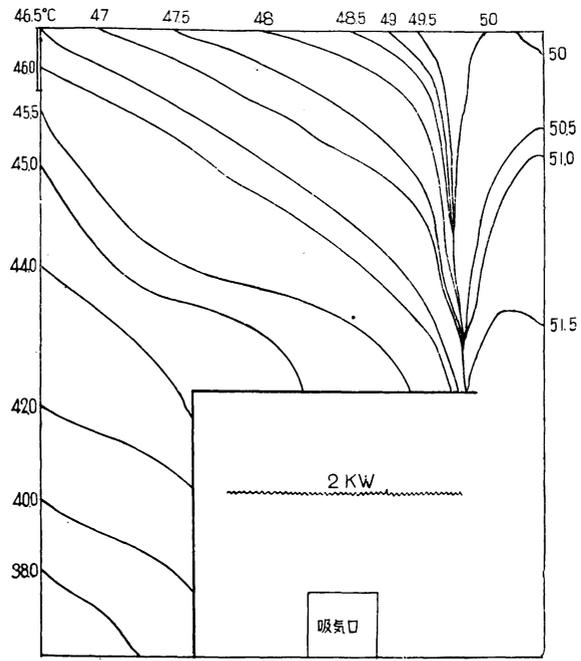
1. 排気口位置による温度分布の変化

排気口的位置による温度分布の変化を、

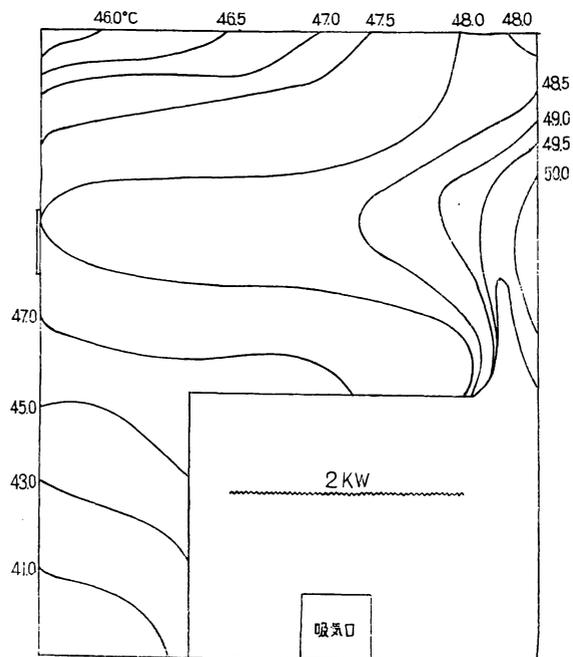
- (A) 熱源の上部に遮蔽板を置き、熱気を一部分からのみ上昇させた場合。
- (B) 遮蔽板を除いて熱気を全面から上昇させた場合。

について夫々測定し、熱気の上昇する部分によつてうける影響を検討した。此等の測定結果は次の様である。

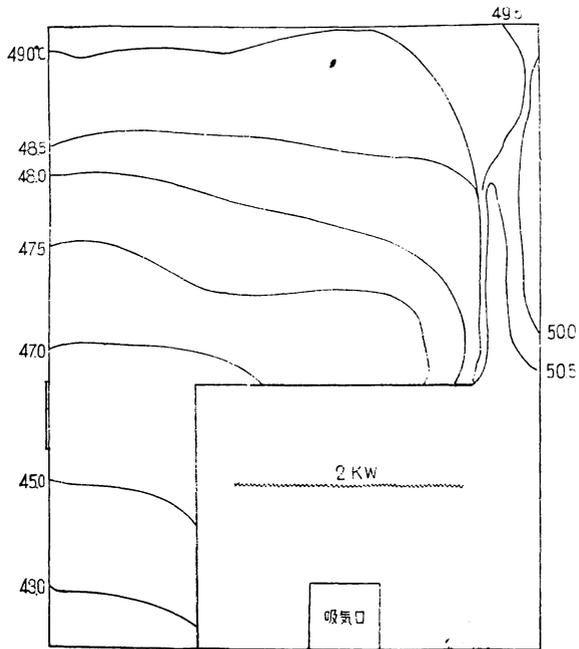
第 2 図 乾燥室内の温度分布図 (排気口 I を開けた場合)



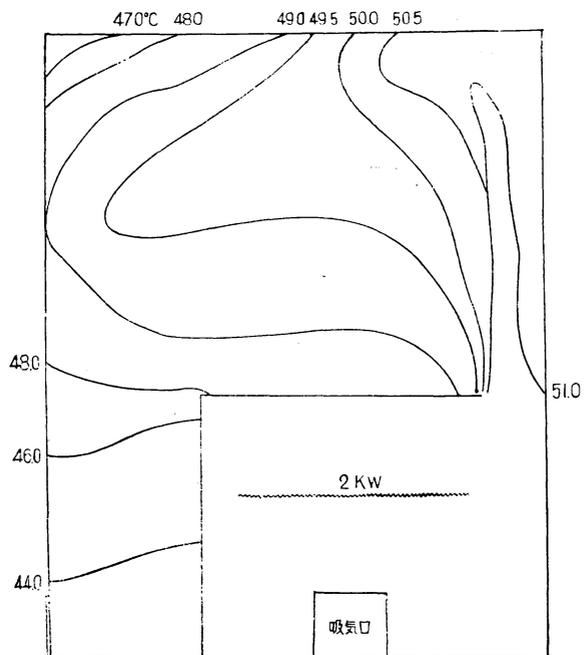
第 3 図 乾燥室内の温度分布図 (排気口 II を開けた場合)



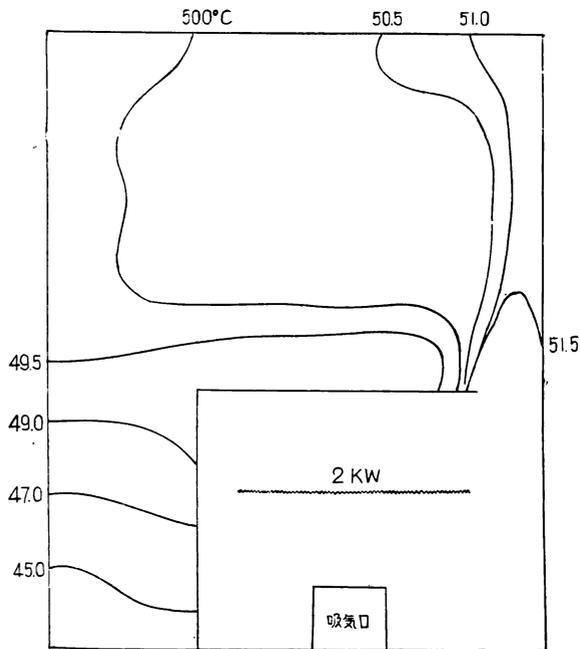
第4図 乾燥室内の温度分布図 (排気口Ⅲを開けた場合)



第5図 乾燥室内の温度分布図 (排気口Ⅳを開けた場合)



第 6 図 乾燥室内の温度分布図 (排気口を開けない場合)



(A) の場合

実験乾燥装置内の各位置における測定値から等温線を画いた結果を第 2~6 図に示した。

此の場合は熱気を一部分からのみ上昇させた為、排気口の位置によつて温度分布が明らかに異り、熱気の流動方向を充分想像させるに足る結果を得た。即ち

- (i) 温度線が開放した排気口の方向へ流れて熱気の運動方向と合致している。
- (ii) 従つて開放した排気口が上部である程乾燥室内の温度は下部が低く、温度差が大きくなり、次表の結果を得た。

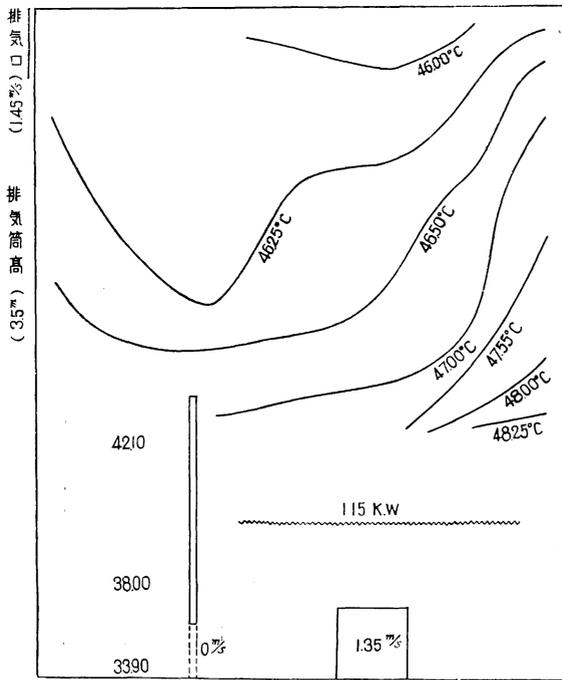
開放排気口	全閉	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
室内温度差 °C	6.5	7.0	7.5	10.0	13.5

(B) の場合

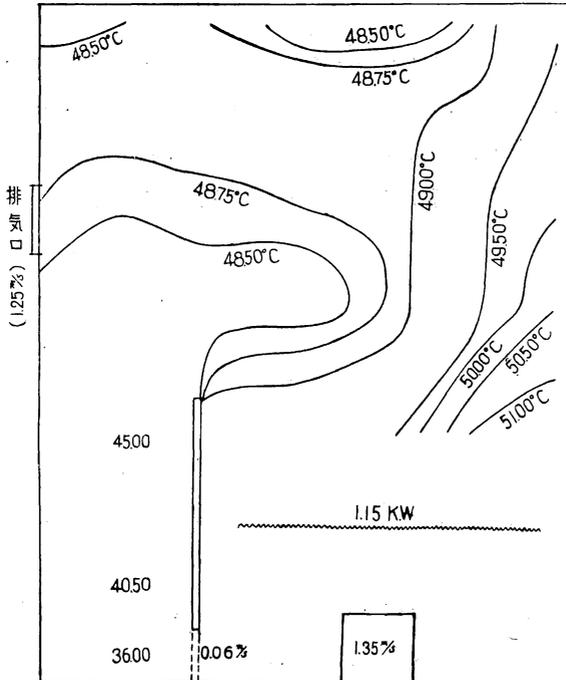
この等温線及測定値は第 7~11 図の様である。この場合は排気口へ降下した空気の一部が熱源へ循環する様に側壁の下方に穴をあけ、その部分の風速も測定した。その値は図に記入した通りである。

此等の図から観察されることは (A) の場合と全く同様であるが、唯温度分布において排気側最下部の温度は測定位置が低過ぎた為に温度の相違が著しかつたが、床上 30cm の位置と最高部との温度差は次の様に何れの場合も略々同一であり、熱源より上部の空

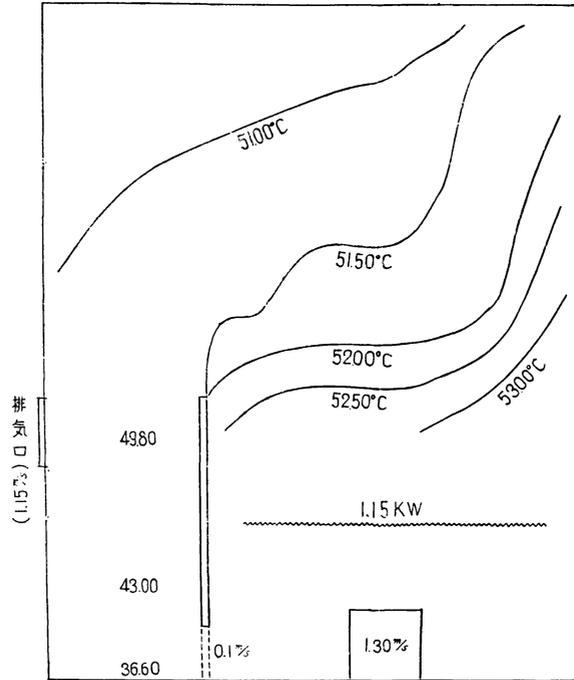
第7図 乾燥室内の温度分布図 (排気口Iを開けた場合)



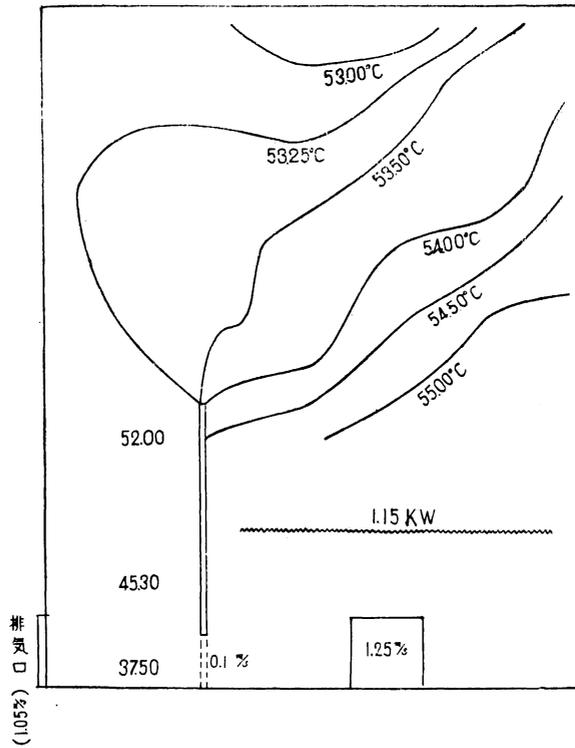
第8図 乾燥室内の温度分布図 (排気口IIを開けた場合)



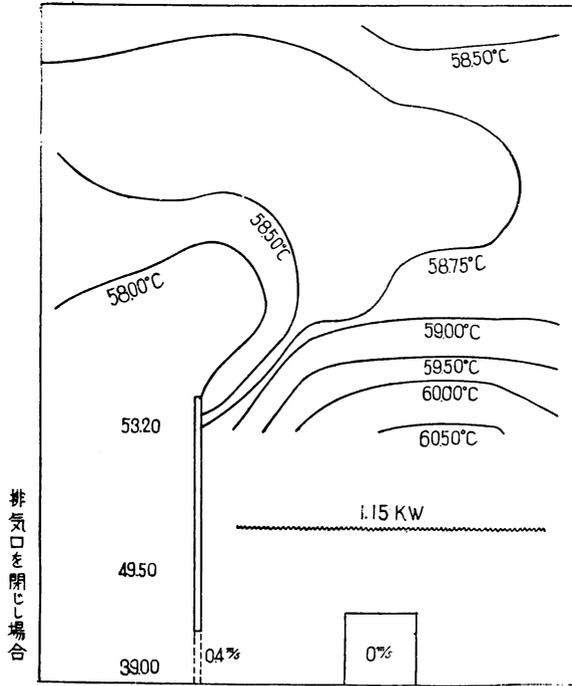
第 9 図 排気口Ⅲを開けた場合



第 10 図 排気口Ⅳを開けた場合



第11図 排気口を開けない場合



開放排気口	全閉	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
温度差 °C	9.5	9.7	10.3	10.9	10.3

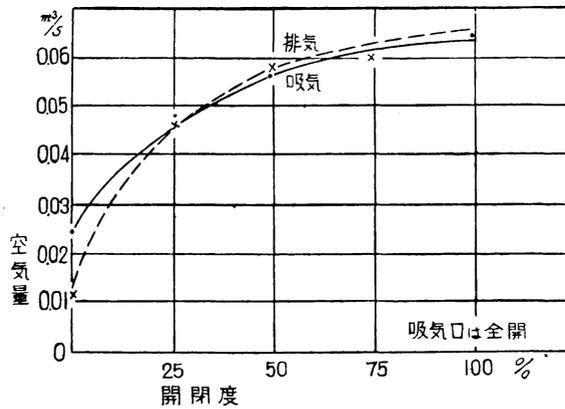
間に於いては温度差が殆んど認められなかつた。従つて熱源の上部を遮蔽した場合より温度分布が均等であり良好な状態ということが出来る。

斯の様な温度分布のみから排気口の適当な位置を判定することは出来ないが、後日発表予定の乾燥研究室、杉下技官の“シュリーレン法による気流観測”の結果と相まつて排気口の適当な位置としては、上部は乾燥に最も役立つ熱気が流出して熱量の損失が大きく、最下部では温度低くて通気力が乏しくなる等の難点を有するので、温度分布の均等化という見地から排気口としてⅢの位置が最も適当ではないかと思われる。

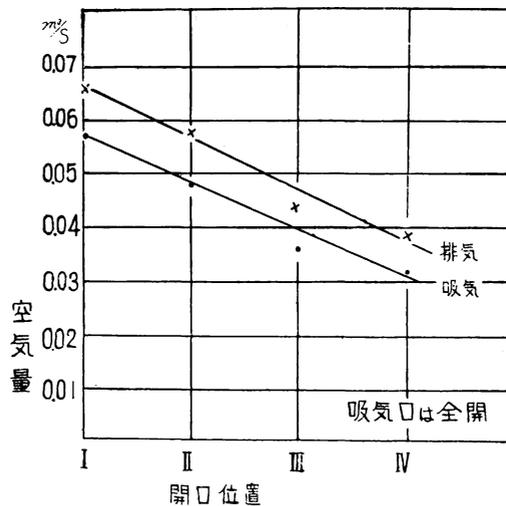
2. 排気口の開閉度と排気量

吸気口を全開にしたまゝで、排気口の開閉度による排気量及び吸気量を測定した結果は第12図の通りである。即ち排気量は排気口の開閉度と比例的に増加するのでなくて、排気口を $\frac{1}{4}$ だけ開けば全開した場合の排気量の約70%は流出し、 $\frac{1}{2}$ も開けば約90%も流出するので、実際に些細な調節は僅か $\frac{1}{4}$ 以内の範囲でなければ行われぬわけである。従つて排気口を開閉して排出量を細かく調節する為には排気口の面積を小さくする必要がある。尙第12図の結果は排気されたのと略同等に近い量が吸気口（この口は常に全開である）から吸われたことを示している。従つて排気口のみを調節すれば吸気量は自ら調節されるのであつて、別に吸

第 12 図 排気口の開閉度と吸気, 排気量



第 13 図 排気口の位置と吸気, 排気量



気口の大きさをダンパー等にて調節する必要のないことを知る。

3. 排気口位置と排気量

乾燥室内温度 60°C (外気は 30°C, 85%); 排気筒の天井よりの高さを 3.5 m とした場合の排気口位置と排気量の関係は第 13 図の如く上部の口を開く程多くの空気が流出している。これは一見矛盾している様に見られるが、排気筒の高さが減少しても室内の温度は上部程高い為に通気力が大きくなつたものと思われる。

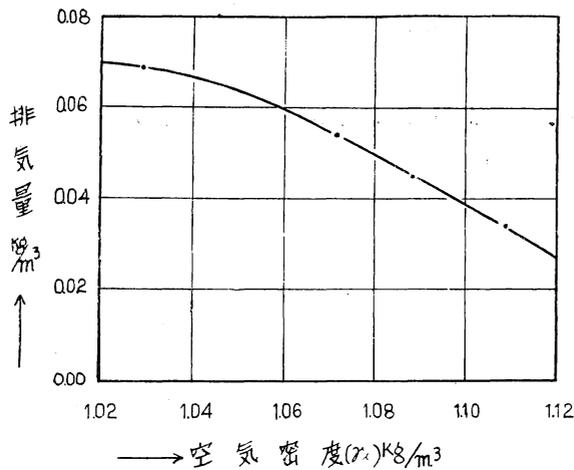
自然換気式乾燥室の欠陥の一つである乾燥の遅いことを補うには通気力を増加して室内空気の循環を速やかにすることである。排気量を増すには上述の結果に見る如く排気口を最上部に設けるのが良いが、(1) で述べた様に最上部に排気口を設けると熱量の損失も多く、温度分布も不均等になり易いから単に通気力のみから排気口の位置を決定することなく、通気の不足は

排気筒を高くすることによつて補ひ、排気口位置は飽くまで乾燥室としての条件を主に考慮して前述の様に決定すべきであらう。

4. 室内空気の条件と排気量

排気筒よりの排気量は室内空気の条件に左右され、外気の条件が同じであれば空気密度の小さい程多くなることは勿論である。室内空気の温度及 関係湿度 が夫々 40°C, 57% : 45°C, 48% : 50°C, 41% : 55°C, 35% 及 60°C, 30% の場合 (各々の空気密度は 1,109, 1,088, 1,071, 1,051 及 1,029 kg/m³) の排気量を測定した結果を第 14 図に示したが緩やかな曲線になつている。

第 14 図 室内空気条件と排気量



一般に排気される為の通気力 ΔP は

$$\Delta P = h(\gamma_a - \gamma_i) \text{kg/m}^2 \dots \dots \dots (1)$$

但し h : 排気筒の高さ (排気口よりの) m

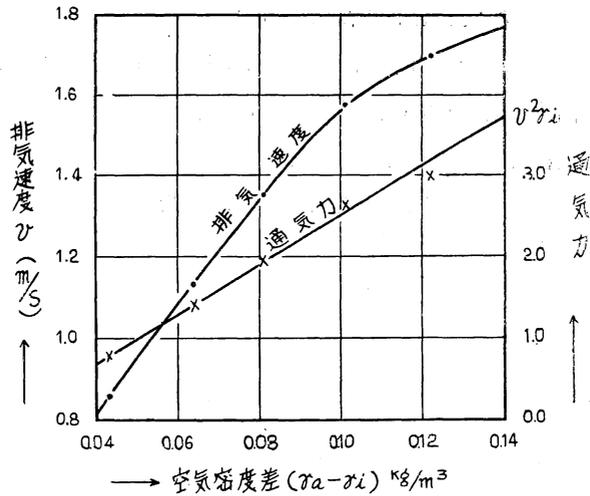
γ_a, γ_i : 外気及室内空気の密度 (kg/m³)

であり、亦排気 velocity を v m/s とすれば $\Delta P \propto \frac{v^2 \gamma_i}{2g}$ であるから排気筒の高さを一定とすれば $(\gamma_a - \gamma_i)$ と $v^2 \cdot \gamma_i$ とは直線的な関係にある筈である。測定値からこの関係を求めて図示すれば第 15 図の如く略直線関係が認められ、測定値は理論にも合致していると謂い得る。更に第 15 図には排気筒内外の空気密度差 $(\gamma_a - \gamma_i)$ と排気速度 v (即ち排気量) との関係も掲げた。これによつて $(\gamma_a - \gamma_i)$ が排気速度に如何に大きく影響されるかを知る事が出来る。

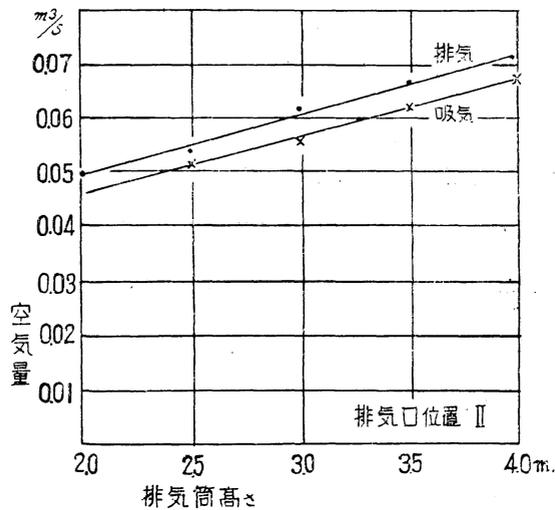
5. 排気筒高さ と排気, 吸気量

乾燥室内空気が 60°C, 30% で、外気が 29°C, 86% の場合に於いて排気筒の高さを種々に変えて排気量と吸気量とを測定した。その結果は第 16 図の通り直線的な関係を得た。一般に

第 15 図 空気密度差と通気力及排気速度



第 16 図 排気筒高さとの吸気, 排気量



自然通気力によつて排気される場合の排気筒の高さ h と風速 v との関係は次式で示される。

$$h = \frac{v^2 \gamma_h}{2g(\gamma_a - \gamma_i)} \left(1 + \sum \zeta + \frac{fla}{S} \right) \dots \dots \dots (2)$$

- 但し g : 重力の加速度 (m/sec²)
- γ_h : 乾燥室内空気の密度 (kg/m³)
- γ_i : 排気筒内空気の密度 (kg/m³)
- γ_a : 外気の密度 (kg/m³)
- f : 摩擦係数 (排気筒内部の材料による)
- l : 排気口よりの排気筒高さ (m)

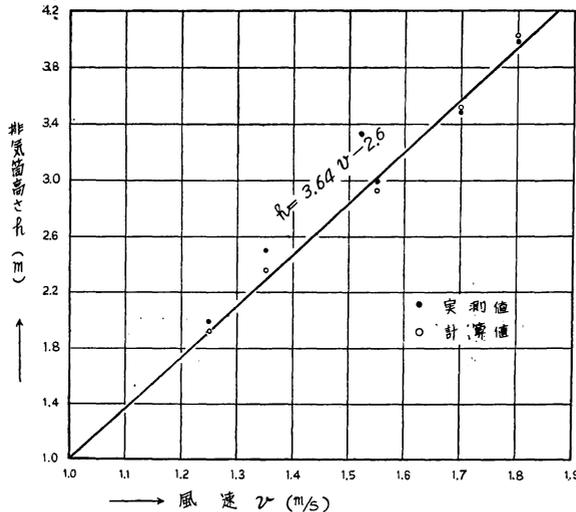
a : 排気筒内の周囲 (m)

S : 排気筒の断面積 (m²)

$\Sigma\zeta$: 排気筒断面の拡大, 縮小, 曲り等による摩擦係数

この式によつて排気筒内で実測して得た風速に対する排気筒の高さを求めると第 17 図の様に実際の高さとよく一致し略直線的な関係を得た*。

第 17 図 排気筒高さ と 排気速度



即ち排気筒高さを h m, 排気速度を v m/s とすれば

$$h = 3.64v - 2.6 \dots \dots \dots (3)$$

なる関係があるので, 排気筒が 1 m 高くなる毎に排気速度は $\frac{dv}{dh} = 0.27$ m/s だけ増すことになる。更にこれを換気回数に換算すると乾燥室の容積が約 5.04 m³ であるから, 排気筒を 1 m 高くすると 1 時間当り約 8 回だけ換気回数を増すことになるから排気筒を成る可く高くする方が実用上有利であると思われる。

上述の様に式 (2) による計算値は実測値と極めて良く一致していることが確かめられたので, 排気筒を正確に設計するにはこの式を用いて差支ないと謂い得る。

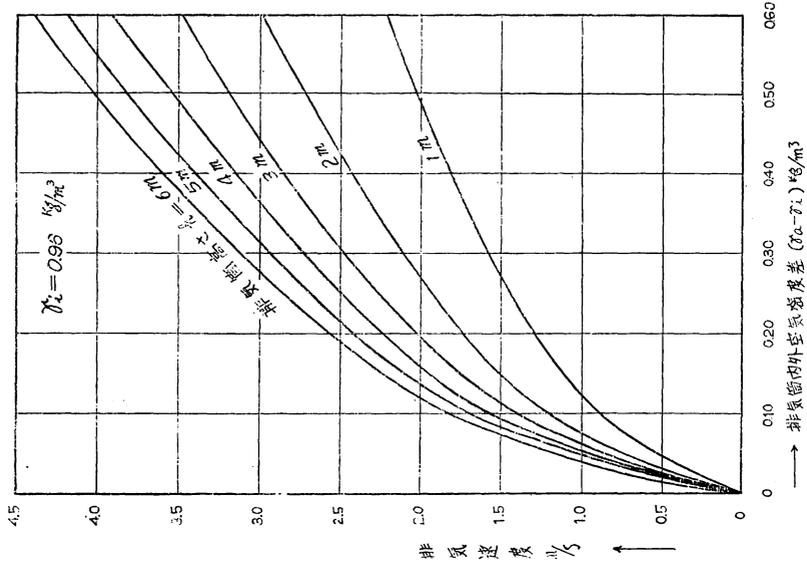
6. 排気筒設計図表

排気筒の設計には式 (2) を用いればよいことを知つたが, 設計の都度この式を用いて適当な排気筒の高さ, 断面積等を計算するのは煩雑であるので, 排気筒内外の空気密度差 ($\gamma_a - \gamma_i$), 排気筒の高さ (h) 及排気速度 (v) 等を仮定すれば適当な排気筒が設計出来る様に, 此等に関する図表を作成し設計に便ならしめた。第 18~20 図がこれである。

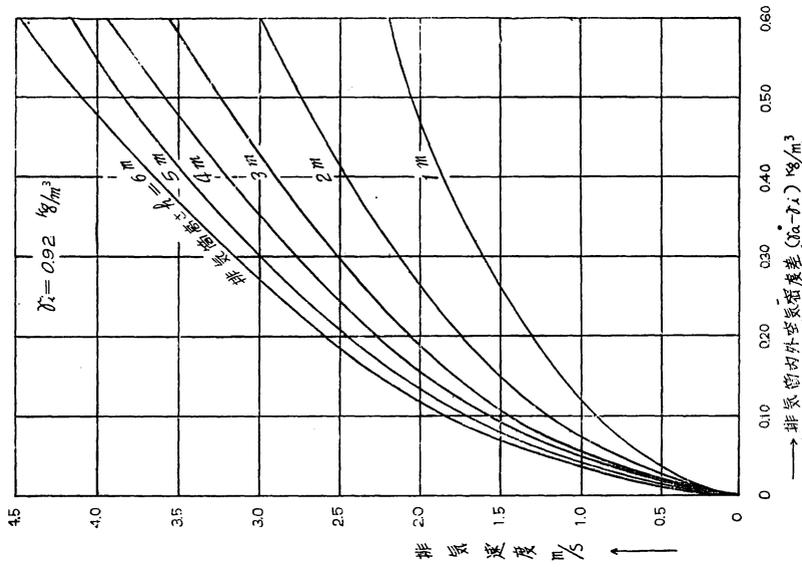
尙乾燥室内の種々な場合における空気密度を第 21 図に示して設計の参考とした。

* 但し計算では $\Sigma\zeta = 1.25$ (曲りが一箇所である為) $f = 0.0065$ とした。 f の値は排気筒内部が木材である為, 木材間の隙間を通過した時の風速の減少程度を実測し, これに伴う損失圧力を求め Fanning の式から計算により求めたものである。

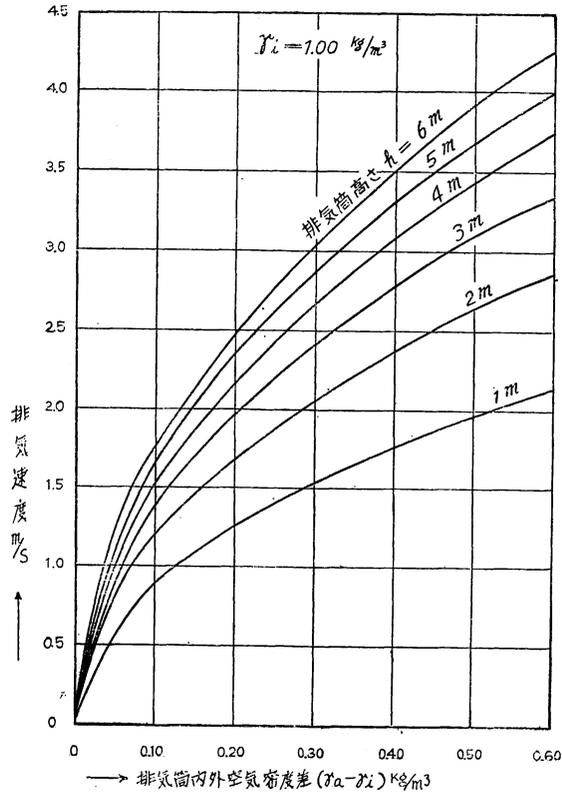
第19図 排気筒設計図表



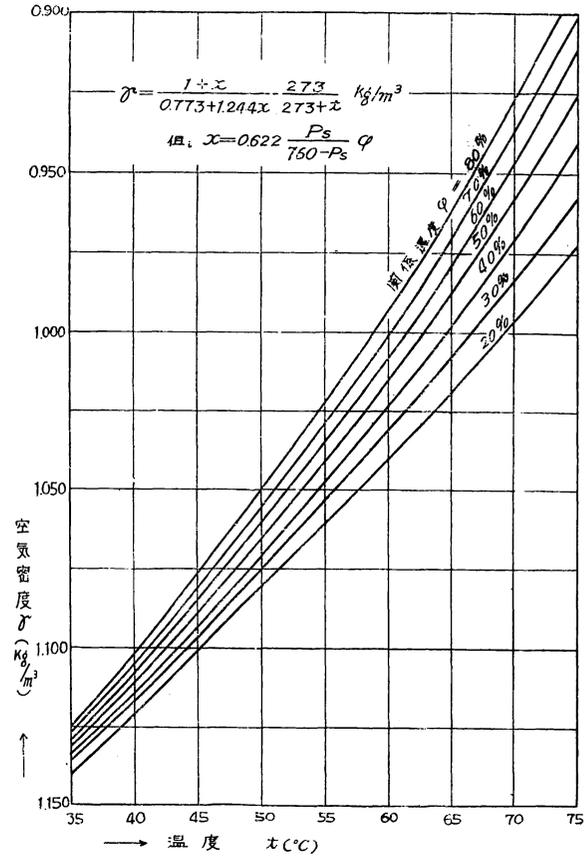
第18図 排気筒設計図表



第 20 圖 排氣筒設計圖表



第 21 圖 空氣密度圖表



摘 要

排気筒に関する実験が試みられる様な小型自然換気式乾燥実験装置を作り、次の如き排気筒設計の資料を得た。

1. 排気口の位置によつて室内温度の分布状態は異なるが、温度分布を均等にするには排気口をⅢの位置(熱源の高さ附近)に設けたのが、最も適当と思われる。
2. 排気口の開閉度と排気量は直線的な関係でなくて $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ を開放すれば夫々全開の場合の約 70, 90% が排気されるので排気量を調節する為には排気口面積を排気筒断面積の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 程度にするのがよい。
3. 排気口が上部である程排気量は増加する。
4. 室内空気の密度が小さい程排気量は多くなり、第 14 図の如くであるが、その結果は理論と合致している。
5. 排気筒の高さと排気量とは比例的な関係にあり、この両者の関係式(式 2)による計算値と良く合致している。
6. 空気密度差、排気筒の高さ及排気速度との図表を作り排気筒設計に便ならしめた。(第 18~20 図)

参 考 文 献

- (1) E. Haüsbrand: Das Trocknen mit Lüft und Dampf.
- (2) 平山嵩, 塘一郎: 室内外の温度差に基く自然換気量(第 1 報) 建築学会論文集 第 28 号 (昭和 13 年 2 月)
- (3) 同 上: (第 2 報) 同 上 第 29 号 (昭和 18 年 5 月)
- (4) 同 上: 吸排気孔の位置及大きさが自然換気量に及ぼす影響 建築学会論文集 第 28 号 (昭和 18 年 2 月)
- (5) 龜井三郎: 化学工学
- (6) 同 上: 空気の調湿及乾燥 (昭和 10 年)
- (7) F. Kollmann: Technologie des Holzes 1933.
- (8) 新津 靖: 屋内空気状態の衛生的研究(第 1 報) 対流暖房と自然換気の組合せに於ける暖房効果と換気量 衛生工業協会誌 第 24 卷 第 1~2 号 (昭和 25 年 1~2 月)

Résumé

The experiments of ventilated chimney were conducted in the small natural ventilated dry kiln created specially for its purpose, and the following data for designs of ventilating chimney were obtained.

1) The distribution of temperature within kiln were different at the positions of out port of chimney, and the port of position III (nearly height of heating coils) was seemed to be most suitable to equalized the temperature distribution.

2) The quantity of ventilated air was not related proportionally with the opened rate of shutter at out-port, but was respectively about 70, 90 per cent of full opened when the shutter was opened only $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$. In order to adjust the to be ventilated air-quantity, therefore, the area of out port of chimney should be about $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ of that of cross-section of ventilating chimney.

3) The heigher the position of port, the more the quantity of ventilated air increase.

4) The quantity of ventilated air increased with the decrease of density of air within kiln, this relation was shown in Fig. 14 and approximately agreed with the theory.

5) Height of ventilating chimney was related proportionally with quantity of ventilated air and agreed with the height calculated from equation (2) for height of out-let trunk and quantity of ventilated air.

6) The relations between the difference of air density, height of ventilating chimney and velocity of ventilated air were graphically shown in Fig. 18~20, these are seemed to be convenient to design the ventilating chimney.