

# 作業環境についての研究（第1報）

（ガラス工場の作業環境の二、三の問題について）

建設課 木下 鈞 一

## Study on Working Environment in Workshops (1st Report)

— A few Problems about the Working Environment in Glassworks —

By K. Kinoshita

The purpose of this study is to pile up the data for the planning of a glassworks structure. Firstly we inquired into the scale of the structure, used materials of wall, floor, roof and others, and the relation between manufacturing process and the block planning of structure, and what we have measured are the surface temperature and area of heat sources and structures, air temperature, air velocity and sound level inside and outside of structure in summer.

From the results of this inquiry, this paper points out a few problems about the working environment in glassworks as follows:

- (1) Protection against heat from a furnace is not enough.
- (2) There are many structures which were planned without considering effective counterplans for ventilation in summer.
- (3) As the height of story is low in two storied structures on the whole, high temperature air is not exhausted effectively to outside and the calorific intensity in the interior increases, so that the environment of working area is influenced by the height of structure.
- (4) In the automatic manufacturing glassworks the sound level which the machines make is over 100 phon constantly inside the structure and over 70 phon outside of works site, and there is the possibility of public nuisance.

According to these measurements we get some fundamental data for planning of glassworks:

- (1) The approximate calorific intensity amounts to 120~284 kcal/hm<sup>3</sup> in common glassworks.
- (2) About the efficiency of heat protecting plates which surround the furnace, we concluded that those which are duplicated by small emissive plate as aluminium or glossy iron plate and fire proof insulating materials, for example glasswool or rockwool are comparatively effective.
- (3) The scale of structure, the floor area of working room and others.

### 1. 研究目的

労働衛生学の立場からの工場内の作業環境の研究は古くから行なわれてきている。しかしここでは建築環境工学の立場から工場内作業環境の問題について実態調査により探り出し、作業環境改善のための検討を行ない、工場建設の基礎資料を得ることが目的である。

### 2. 調査対象工場の選定

この調査では様々な業種のうち暑熱、騒音、塵埃など

有害な作業環境を呈しているガラス器具製造工場をとりあげた。又調査工場を選定する必要上、全国の同業種の工場数、従業員数、工場規模などを全国工場通覧（通産省編1965年）によって調べた結果、全国のガラス器具製造工場数分布については、工場総数 637 そのうち東京都は176工場、全体の27.2%、大阪府は220工場で34.7%と兩大都市に圧倒的に集中しており、東京、千葉、神奈川、埼玉、の4県にわたる関東一円、それに大阪、兵庫、京都、愛知を含む一帯の人口の集中している消費地帯に工場が建設せられ、その他の地方には僅かとなっているこ

とがわかった。これはガラス製品は家庭一般に使用され、消費されて行く量がきわめて大きく、このため工業

立地論の上からも上記の如き結果は当然と考えられる。また、都道府県別ガラス製品生産額については、ガラ

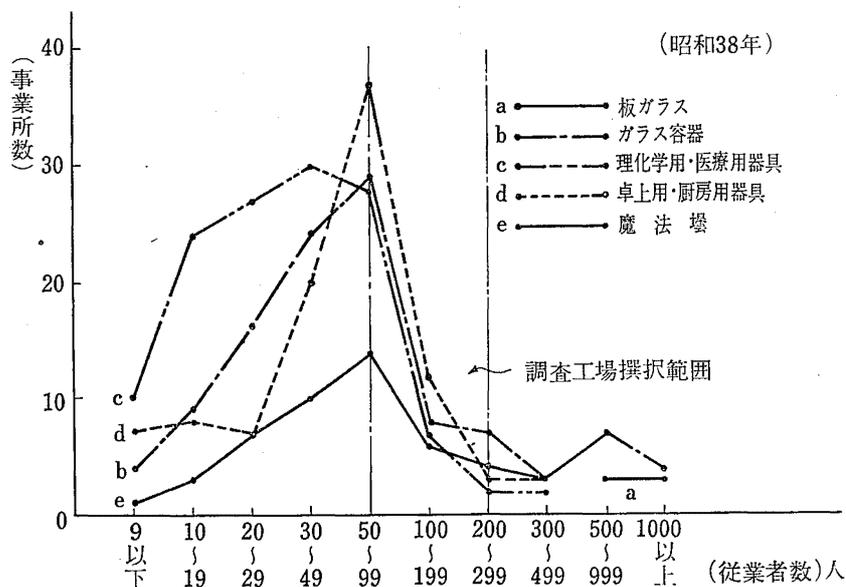
Table-1 Scale of the structures of glassworks

工場名	従業員数	敷地面積 (m <sup>2</sup> )	成型作業 場床面積	主棟の スパン m	原料供給量 ton/day	原料調合 室床面積	1階天井高 /軒高	モニタ ーの形
A	156	3000	557	14.6	2.6	47.8	3.0/9.0	a
B	80	—	490	17.4	2.8	56.0	3.1/6.2	a
C	150	—	800	16.0	80.0	—	不明	a
D	180	4860	536	17.5	—	36.0	7.0	c
E	87	5084	421	11.6	3.0	154.0	2.2/5.6	b
F	54	475	221	11.05	1.5	19.5	2.7/5.6	c
G	107	1548	449	12.0	1.8	35.0	2.5/5.1	a
H	161	—	465	16.0	20.0	—	10	e
I	96	—	624	15.0	3.46	84.0	2.8/6.0	a
J	250	7997	294	14.0	1.6	—	2.8/6.2	a
K	80	—	340	16.0	1.5	32.0	3.0/8.5	d
L	40	16500	700	13.0	4.2	41.6	9.6	c
M	51	2540	250	9.0	2.0	78.0	2.8/5.6	a
N	45	1220	315	10.0	2.0	41.0	2.5/6.5	a
O	50	—	254	16.2	2.0	—	3.7/9.4	e

ス繊維品、飲食調味料用その他各種の壺、板ガラス類；光学レンズ用素地ガラス等の生産では神奈川が全国生産額の約半分を占め、その他大阪8.2%、兵庫14.1%、京都5.5%、三重5.0%、福岡県4%その他少々となっている。これは神奈川には機械化された生産方式をもつ大工場が数社集中しているためである。同様なことが兵庫県についても言える。即ち上記の生産品目等は、京浜、阪神工業地帯で大量の生産が行なわれている。

理化学用器具、医療用ガラス器具、薬用化粧品用壺、照明器具、アンプルその他のガラス壺；食器その他の製品についてみると、東京都内で生産される額は各品目の平均で44.3%、大阪府内では27.5%、愛知3.1%その他少々となっている。上記の品目に関しては都内での生産額は全国のその約半数近い生産額をあげているわけである。また、魔法壺の製造は殆んど大阪府内で製造されている。

Fig-1 Number of glassworks to that of labourers



従業者数別事業所数及び従業員数は Fig-1 に記した通りで、従業員数の層別に対する事業所数は50~99人までの従業者の事業所数が最も多く、炉体をもつガラス器具製造業では従業員20~99人までの工場が多い。

調査対象として、類似した規模をもって比較的安定して製造していると思われる工場を選ぶため、同図の中で二本の平行線の範囲内、つまり従業員数 50~299人までの工場とし、大規模工場は調査が広汎にわたるので取りあげない。前記の如く東京都内で生産されるガラス器具の生産額が工場数の割合から非常に少ないことからみて、中小規模の工場が多く、しかも多種少量生産のところが多いためとみられる。工場数については江東区24 (28.6%)、江戸川区11 (13.1%)、墨田区17 (20.2%)、荒川3 (3.6%)、大田区8 (9.5%)、台東区4 (4.8%) その他となっており、いわゆる江東五区で東京都内の工場数の70%以上の工場が操業している。よって調査は主として同方面を選んだ。

### 3. 調査の日時及び測定器具

調査日時は工場内環境が最も悪化すると思われる夏季とし、昭和41年6月~8月と42年8月に行なった。調査工場数は前年度11工場、本年度には5工場そのうち1工場は前年度の再調査であった。

調査測定に使用した器具は、

自記温湿度計5台、サーミスター式温度計受感部5本、アスマン通風温湿度計3台、グローブ寒暖計2台、熱線風速計1台、騒音計1台、労研式吸着式塵埃計1台、検知管式ガス濃度検出器一式 (CO<sub>2</sub>, CO SO<sub>2</sub>) ベックマン輻射計1台

### 4. 調査項目

#### A 建物に関するもの

- (1) 建物の方位及び敷地内配置
- (2) 工場内敷地面積及び主要工場床面積
- (3) 建物の構造、仕上及び各部寸法
- (4) 工場内設備と作業工程

#### B 工場内環境に関するもの

- (1) 炉体を有する工場内の水平面及び垂直方向温度分布
- (2) 発熱体の表面温度と表面積
- (3) 工場内外温度差
- (4) 炉体周辺における有効輻射温度
- (5) 工場内の気動速度、窓、出入口等の開口部での風の流入流出速度及び戸外の風速
- (6) 各作業室における粉塵濃度、CO<sub>2</sub>、CO、SO<sub>2</sub>濃度、
- (7) 騒音度
- (8) 燃料消費量、消費ガラス原料量、作業人員数その他以上の測定結果は測定位置により極めて顕著な差異を生じ、又測定器によっては大きな個人差があらわれるものもあるので同一測定者が連続して行なった。

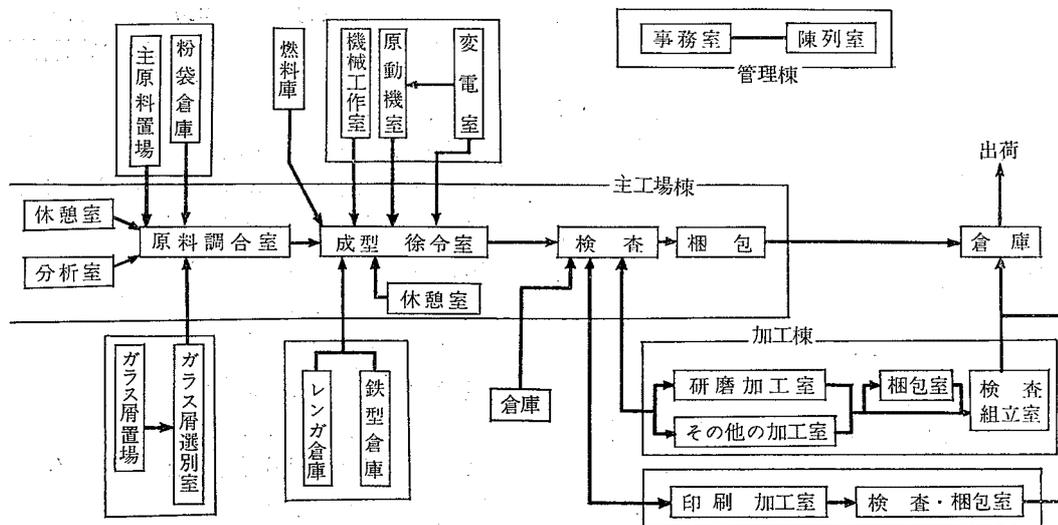
### 5. 調査結果と作業環境の問題について

#### (1) 工場建家について

炉体を有する工場の棟方向について調べた結果、10°程度のずれはあるが東西方向、あるいは南北方向となっている場合が多い。東西の軸に近い棟方向をもつ工場数は8カ所、南北方向は7カ所となった。棟方向は一般に敷地の形状、広さ、敷地に面する道路の位置により殆どの場合決定されるものとみられ、上にあげた結果は気象条件と棟方向及び夏季の工場内の環境との関係を充分に考慮していないところが多いのではないと思われる。

次にガラス器具製造工場の建家は Fig-2 のようなプロ

Fig-2 Block plan and the manufacturing process of glassworks



ックから成っている。

もちろん工場の規模により一律でない。自動成型機を使用している工場は同図のように主工場棟、加工棟、管理棟、検査梱包棟、倉庫、厚生施設その他のブロックに別れ、主工場棟には炉体、成型機、徐冷炉などがあり、原料調合混合作業、成型作業、検査作業などが行なわれている。小規模工場ではこの棟で検査、梱包等も行なわれている。小型の壘類などが大量に製造されているところでは検査梱包が別棟になっているところもある。主工場棟に附属して原料倉庫、燃料貯蔵庫、ガラス屑選別粉碎室、調合分析室、耐火レンガ・成型々枠倉庫、変電室、動力機械室、工作室、休憩室が別棟に建てられている。

加工棟では印刷加工及び焼付け、検査梱包が行なわれ、これに附随して染料分析、製品管理室、休憩更衣室がある。

半自動成型又は完全手造り工場では上記のように細かく作業場の分化していないところが多く、小規模工場では、炉体を中心とした主工場棟の中で全ての作業が行なわれているところもある。しかし大ていの工場は上記のように主工場棟、加工棟、検査梱包棟、管理棟その他厚生施設の各ブロックに大別出来る。なお加工棟での作業は前述の場合と違い、主としてガラス器具の研磨加工あるいは穿孔加工、組立作業が行なわれている。

次に建家の形式についてみると、一般に小規模ガラス器具製造工場の建築計画上の特記すべきことは、2階建てとなっていることである。炉体は1階が焚き口（現在は殆んど重油ロータリーバーナー）となっており2階の炉体内にルツボが収納されていて、その炉体は床面の中央に設置され、その周囲で成型作業が行なわれるのである。1階は充分に活用されておらず、一隅に原料調合室、製品倉庫、金型倉庫、動力機械室、休憩室などがある。

一方自動成型機を設備している工場では平家建てとなっており、溶解炉は床面3m程度の高さにあって溶解ガラス塊が丁度一本分の壘の量に分断されて自動製壘機に落ちこむようになっているので、半自動成型機を用いているところ、あるいは完全手造りの工場とは全く建家の形式が違う。

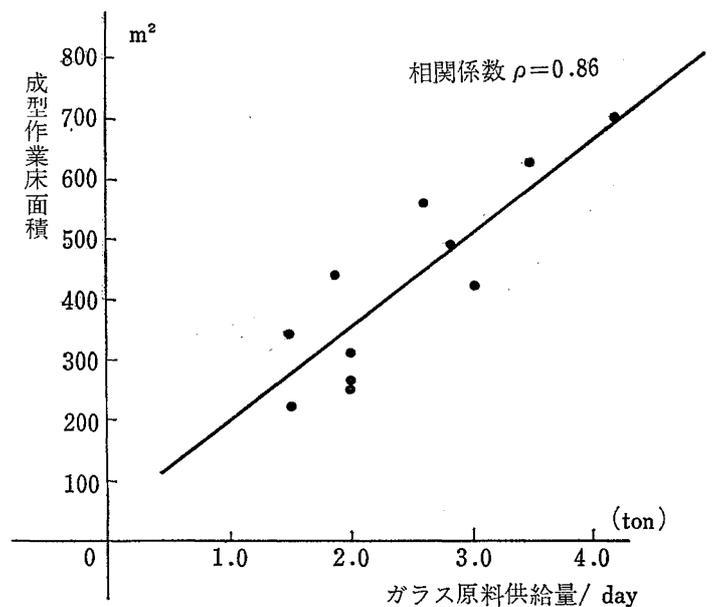
炉体を有する成型工場の建物の主体構造は殆んど鉄骨構造であった。建物のスパンは大体10m~17m内外で屋根はトラス又はトラス式山形ラーメンであった。床は1、2階共コンクリート、一部の工場でレンガ敷きのところも見受けられた。外壁の仕上げについてみると、16例中石綿スレート8例、トタン波板4例で屋根、外壁共石綿スレート板を用いているところが多く、窓の形式は全工場とも年中開放されたままで、引違い窓、廻転窓、

すべり出し窓などさまざまで、廻転窓は通風のための有効な断面が他種のものより大きく、換気効果が大であると思われる。

越屋根の形状については、Table-1に各工場別に記した。換気効率の最も良くない単純な形状の(a)型の越屋根が8例、その他開口部に衝立を置いた形式のもの6例あった。Hガラス工場でかなり大きな開口をもった換気効率の良い形式のもの(e)型が採用されているのは特注すべきであった。既に越屋根の形状別換気性能についてはかなりの研究成果があげられているので、工場設計の際にもっと採り入れられるべきである。

各工場の作業場床面積、敷地面積はTable-1に一括してあげた。半自動成型あるいは手造り成型工場のみについてみると、成型作業場の床面積は212m<sup>2</sup>~624m<sup>2</sup>までの範囲で、今この床面積とし1日当りガラス原料供給量の関係を調べると、Fig-3のような関係が得られ、

Fig-3 Relation between manufacturing floor area and the quantity of glass materials



(成型作業面積は成型作業のみに要する面積をとり、階下の充分に活用されていない床面は含まない) 両者の間に相関関係が認められる。原料調合室は26~80m<sup>2</sup>程度で特にE工場のみ154m<sup>2</sup>であった。また成型作業床面積に対する割合は8.5~13.6%見当となった。

また、2階建ての工場の場合、2階の床高さは3m前後で、ある工場では2.2mのところもあった。2階床面から小屋組下弦材までの高さ3m程度のところが多い。これは建家の容積が割合少なく、後で触れるように発熱強度が極めて高くなることになり、結局酷暑環境を生む

一因となる。従って敷地の許す限り平家建てとし軒高を高くして換気性能を高める必要がある。

(2) 建家内温度分布について

作業域の水平面の気温の測定を行ない、温度分布の状況を調べた。測定時刻は外気温が最も高くなると思われ

る午後1～2時ごろとした。測定はアスマン通風式温湿度計3台を用いた。測定点は柱梁の通りの交点を見込み、測定点の高さは大体呼吸線の高さとした。

測定した結果の1例を Fig-4 に示す。水平面の温度分布の状況は一目瞭然である。即ち炉体周辺、特に炉体

Fig-4(a) An example of temperature distribution on the same level and the plan

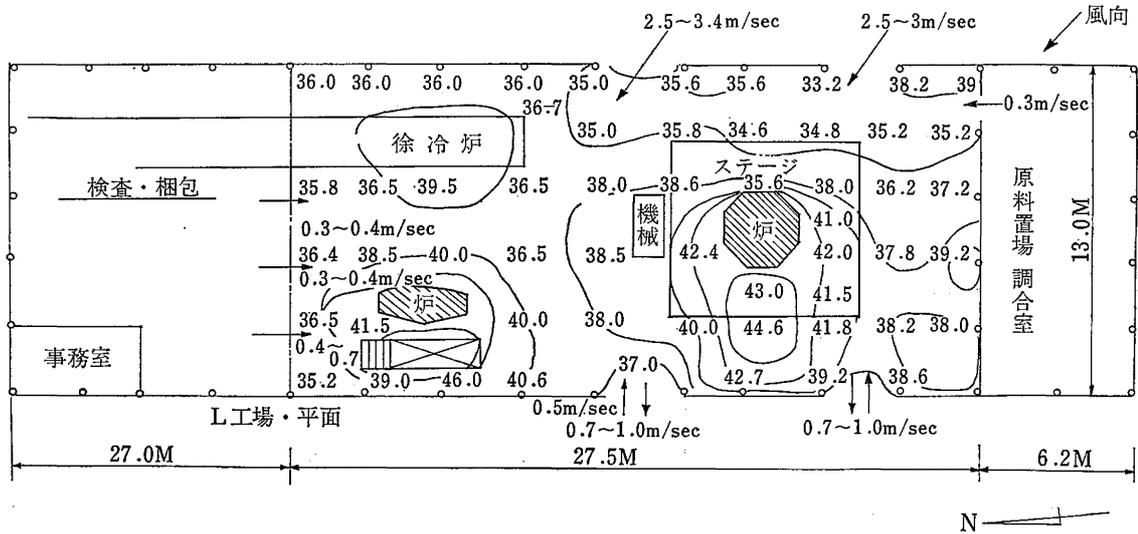
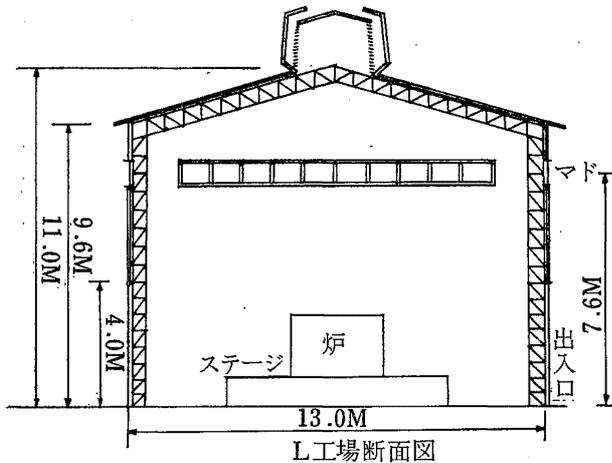


Fig-4(b) Section of a single story glassworks.



の風下側に広く高温域が分布する。このことは他の工場についても全く同様な傾向である。また、作業域の近傍に置いた自記温度計の記録をみると、風上側の作業場は外気温と大差はなく1～3°C程度であった。また、風下側の炉体から2～5m離れた位置での気温と外気温との差7～9°Cであった。結局、融解炉からの伝達熱が他の位置にある発熱体からのそれよりもはるかに多量であって、炉体周囲からの熱伝達量を低減させることが暑熱労働環境の最大の問題点となる。このことについて後述のように炉体の周囲に設置される防熱板の性能に関するもので、その設計について検討している。又建家内の垂

直方向の気温勾配を知るため垂直方向の気温を測定した。一般には建家内の位置により気温勾配にも差があり特に建家内の各所に熱源がある場合には複雑な気流となっていると想像され、この状態では厳密な測定結果を得ることは困難であるが、ここでは次の様な方法で床面上のある高さの気温を実測した。

長さ5mの木材の棒にサーミスタ式温度計のエレメント(応答速度15秒)を1m毎に取り付け、炉体の周辺より0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 3.0m, 4.0m, 5.0m離れた位置でこの棒を鉛直に立て1.0m毎の高さの気温を測定した。測定位置は炉体の風上側、風下側の方向で1日に3回測定した。このサーミスタエレメントにはステンレス製の有孔のキャップを被せ高温体から輻射熱の影響を少なくするように図った。この測定は多数のエレメントを取りつけた1本の長い棒で順次位置をかえて測定して行ったため、一連の測定結果はある時刻の瞬時を示すものではない。測定開始から終了までの1回の測定(風上風下各6ヶ所合計測定点数30～40点)の所要時間は10～15分を要し、この時間内に室内気温分布の状況はかなり変化すると思われるが、作業中の現場では多数の測定器を持ち込むことは出来ず止むを得ない。測定結果の1例を Fig-5(a), 5(b)に示す。また、同一地点での測温値の床面高さへの回帰係数、即ち気温勾配を下記の式により統計的に求めた。

$$\frac{d\theta}{dh} = \frac{\sum(\theta_i - \bar{\theta})(h_i - \bar{h})}{\sum(h_i - \bar{h})^2}$$

$h_i$  ; 床面からの高さ (m)

$\theta_i$  ; その高さの気温 (°C)

Fig-5(a) Example of air temperature gradient at some positions

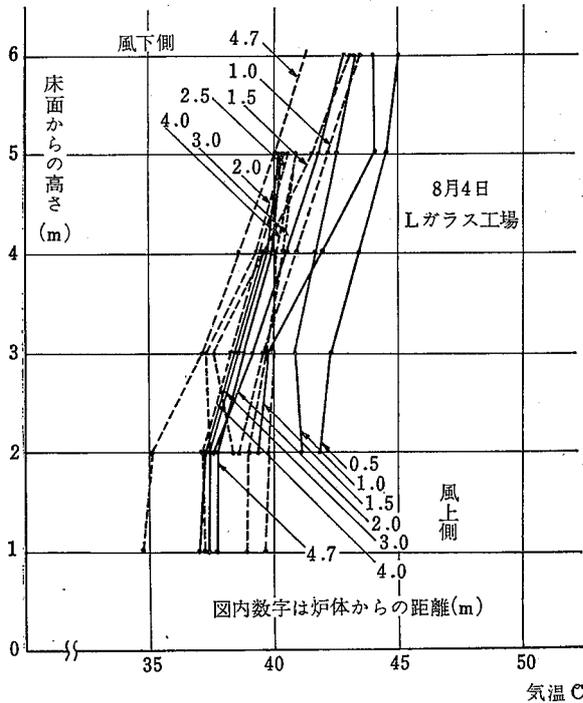
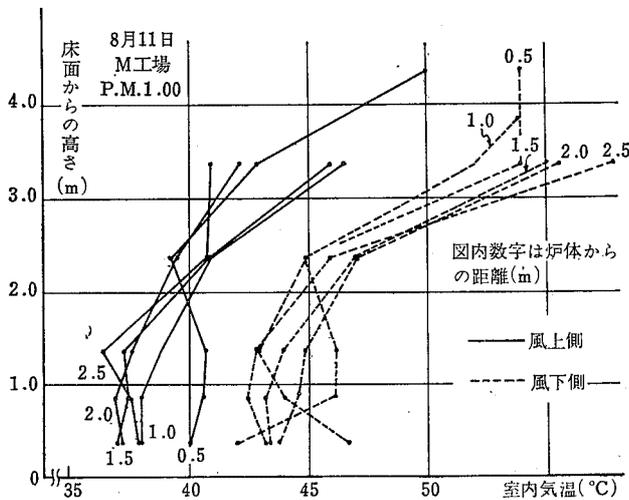


Fig-5(b)



垂直方向気温勾配の計算結果は Table-2 の通りとなった。この表で気温勾配の値は風上側風下側別に平均値を記す。この測定は4工場で行ったが Fig-5(b) からわかるように温度勾配を一定とみなせない場合があり結局2例に止まった。

この測定を行った4工場のうちL工場は平家建てで軒高が9.6m、他の工場のそれよりも高い。気温勾配は午前中は、1.17~1.40°C/m、昼の休憩中は0.83~1.02°C/mとなる。これは一時作業が中断されているため発

Table-2 Value of air temperature gradient.

		測定時刻		気温勾配の平均値
L 工場	同大 上型 側炉	a.m.	11.40	1.39°C/m
		p.m.	0.40	1.02
		p.m.	3.35	1.67
	同大 下型 側炉	a.m.	11.00	1.17
		p.m.	0.25	1.02
		p.m.	3.05	1.02
風小 上型 側炉	a.m.	11.55	1.40	
	p.m.	0.55	0.83	
	p.m.	3.22	1.07	
N 工場	風上 側	a.m.	10.45	1.32
		p.m.	1.00	1.30
		p.m.	3.30	1.70
	風下 側	a.m.	10.35	1.98
		p.m.	0.45	1.12
		p.m.	3.45	2.10

L工場は '67.8.4、N工場は '67.8.12 に測定熱量が減少するものと思われる。更に午後にはその値が増大し風上側1.67、風下側1.02°C/mとなる。これにより午後3時頃のモニタールーフ附近の気温は53°C前後と推定される。この建物は Fig-4 のように大きな開口部は出入口5ヶ所、窓1ヶ所、モニタールーフの7ヶ所ある。風が棟と45°の方向から風速2.0m/secで吹いていると仮定し、また、前記気温勾配の値から各開口部の中心部の高さhにおける空気比重量 $\gamma_n$ を推定し、下記の式より、各開口部に於ける空気流量を求め、換気量を求めた。

$$\gamma_n = \frac{1.2932}{1 + \frac{\theta_n}{273.17}} \quad \theta_n = \beta h_n + \theta_0$$

$\theta_n$  : 高さ  $h_n$ (m) の推定気温  $\theta_0$  : 床面附近気温、風上側35°C、風下側42°Cとする

$\beta$  : 気温勾配、風上側1.67、風下側1.02°C/m

$$\begin{cases} V_n = \alpha_n A_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma_0} \{ P_i + h_n(\gamma_0 - \gamma_n) \}} - C V^2 \\ \sum V_n = 0 \end{cases}$$

$V_n$  : n番目の開口部における流量 (m³/h)

$\alpha_n A_n$  : n番目の開口部の有効断面積 (m²)

$P_i$  : 室内床面における圧力 ((kg/m²))

$h_n$  : n番目の開口部の中心高さ (m)

$C$  : 風圧係数、設計々画パンフレット No 18 P, 50 および建築計画原論III (渡辺要編丸善) P.211 による

$\gamma_0$  : 外界空気温に於ける比重量 (kg/m³)

上式より

$$\frac{2g}{\gamma_0} P_i = -2.63$$

を得、換気回数  $n=58.7$  回/h なる結果となった。開口部の流出入空気速度は Fig-4(a) に記入した様に調査で得た空気速度とほぼ同様な値となった。また、日本建築学会編設計々画パンフレット No. 18 (換気設計)によれば温度差比  $m$  は

$$m = \frac{(\text{作業域温度}) - (\text{外気温})}{(\text{排気温度}) - (\text{外気温})}$$

をもって表わしている。そして各種の工場についてそれ

ぞれの  $m$  の値を求めている。しかし一般に高熱工場では、年中建家の開口部を開放状態にして風圧力による換気を図っている、このため高熱体の風上側に風下側とでは著しい温度差を生じているのが普通である。従って作業域温度は一様でなく、 $m$  の値を求めることは意味をもたないことになるおそれがある。今ここで作業域温度を風下側の炉体周辺の作業域の温度と仮定し  $m$  の値を求めてみる。排気温度は直接測定出来たものについてはその値を用い、また、前に得た気温勾配の値より推定した。その結果は Table-3 のようになった。

これらの値は1日数回ある時刻に測定した結果から計

Table-3 Ratio of the difference of air temperature.

	時 刻	作業域温度 °C	越屋根排気温度 °C	外 気 温 °C	温度差比 m
L 工 場	am. 11.00	38.0	50.8	28.0	0.44
	p.m. 0.25	37.5	48.7	29.0	0.43
	p.m. 3.05	38.0	48.2	28.2	0.49
E 工 場	am. 11.00	37.0	46.0	32.0	0.36
	p.m. 1.20	38.8	50.5	34.8	0.25
	p.m. 3.20	38.6	46.0	31.5	0.45
M 工 場	p.m. 1.15	44.0	59.4	36.0	0.34
	p.m. 3.15	38.6	46.7	33.5	0.39
N 工 場	am. 10.35	38.5	54.9	31.6	0.30
	p.m. 0.45	37.5	47.0	32.2	0.36
	p.m. 3.45	38.0	55.8	32.5	0.24

算した値であってサンプル数が少なく明確に結論はできないが、この種の工場では温度差比の値  $m$  は 0.24~0.49 程度となることがわかった。

その他階高の極端に低い小規模工場の例では (M工場 2階の床面から軒、棟までの高さがそれぞれ 2.8m, 4.5m) 建家内の垂直方向気温の測定結果は Fig-5(b) で、この図から気温勾配を一定とすることは出来ず、屋根裏面附近で急激に温度上昇している。これは発熱強度が高く、越屋根の開口面積が十分な大きさでないかと思われる。結局このような高熱工場の作業環境は建家の換気性能によって左右され、開口部の床面からの高さ、その有効断面積、風向、風速、建家内の発熱強度等が建家設計の際問題となる。よって後に発熱強度の推定値について記す。

### (3) 騒音

騒音の測定はリオン製の簡易型の騒音計を用いた。ガラス器具製造工場内の騒音度は一般に音源が多数散在するため、騒音計で測定してみると時間的に大きな変動はなく大体 5phon 内外の騒音度変動量であるので、測定

は午前中1回午後1回測定し、その最大値最小値を記録した。その結果は Table-4 である。調査中最も騒音度の大きい工場は自動製壘機を用いている工場で、騒音度は 95~105 phon にもなっている。音源は自動製壘機でこの機械の鉄製の型の開閉や成型に圧縮空気力を用いているため、その圧縮空気の噴出音が大部分で、その他機械の廻転音、ファンの音等である。

C工場の測定結果についてみると建家内での騒音レベルは、100~105 phon にも達し、構内の戸外での騒音レベルは 75~80 phon、構外前面道路で工場にマイクロホンに向けて測定した場合 70~75 phon となった。(交通騒音のないときに測定、又近傍に高騒音工場はない。)

これらの自動製壘機によって生産を行なっている工場は住宅の密集地帯にあり、昼夜兼行作業のため公害問題となっており、このため大きな開口部を設けることができない。

自動製壘工場以外の成型工場の騒音レベルは 75~95 phon 程度で前記の種類工場ほど高くない。研磨加工

を行っている工場のうち、B工場での研磨加工室は天井壁、床がコンクリート、又はコンクリートブロックで狭い作業場に多数の研磨機が稼動しているため、騒音度は90~95phonとなった。その他の工場では80phon以下であった。

## 6. 建家内熱負荷について

ガラス器具製造工程は前にも触れたように、原料調合→溶解→徐冷→(加工)→梱包←出荷である。その中でも製造方式、即ち完全自動成型機によるもの、半自動成型機によるものあるいは完全手造りによるもの等により工程や作業内容又は工場規模も相違してくる。完全自動成型機による生産を行なっている工場では、建物の中央の中二階に大きな溶解炉が設置されており、この炉体の前方周辺下に自動成型機が配置されている。この機械で製造されたガラス器はベルトコンベヤにより徐冷炉に運ばれる。この徐冷炉の終端で検査が行なわれ、梱包されるのである。この製造過程で大量に熱を放散する個所についてみると、まず溶解炉壁体、成型機械、成型機から徐冷炉までベルトコンベヤで運ばれて行く途上にある半製品、それに徐冷炉の一部である。このうち溶解炉からの発生熱量が、最も大きく、炉体の外表面温度は300~400°Cで建物内壁、床建物の構造体、それに建家内空気に伝達される。また、半自動または手造りの成型工場の中小規模の生産方式のところでも炉体周辺、徐冷炉から伝達熱が最も多い。この種の工場では炉体周辺には多数の従業員が作業しているので問題がある。

今回の調査ではこれら工場の換気計画の資料を得るため建家内の空気に伝達される熱量の概略の値を把握しよ

Table-4 Sound level (phon)

	成型工場内	工場構内戸外
B 工場	80 ~ 90	
C	100 ~ 105	75 ~ 80
D	95 ~ 100	
E	90 ~ 95	
F	75 ~ 80	
G	75 ~ 80	
H	90 ~ 92	
I	98 ~ 100	74 ~ 76
J	85 ~ 90	
K	84 ~ 85	

うとつとめた。発生熱源の表面積、表面温度、表面附近の気流速度・温度及び工場建家の壁体の表面温度を測定してみた。測定は1日3回、気温と発熱体及壁体の表面温度はサーミスタ式温度計で、気流速度は熱線風速計を用い、300°C以上の高温体例えば成型されたばかりの半製品あるいは壁体表面温度は推定によった。測定結果は次の通りである。

### a. 炉体壁面温度

(1)自動製壘工場タンク炉表面温度 300~400°C

(1)ルツボ式炉体(2階) 250~300°C

b. 遮蔽板(ルツボ式炉体を蔽う板)外表面温度、測定は1日数回10カ所以上測定した。結果は Table-5

c. 半製品外表面温度(成型直後で徐冷炉に入れられる直前のもの)推定で300°Cと推定

d. 徐冷炉炉体表面温度

(挿入口より2~3mの間) 45~100°C平均 70°C

Table-5 Surface temperature of heat protectnig plates.

	遮蔽板表面温度	平均値	備	考
L工場	70 ~ 99°C	82°C	3mm鉄板, 2重中空, 表面銀白塗装, 板の内側の気温70°C程度	
E "	44 ~ 136	75	波型トタン板, 幾枚も重ねる	
M "	77 ~ 187	122	波型トタン板, 炉体を完全に蔽わず	
N "	46 ~ 160	84	波汲トタン板と木材の板を併用	
O "	59 ~ 78	69	外側鉄板, 内面に10mmのアスベスト貼, 外表面銀白塗装	

### e. 溶解ガラス温度 1,200~1,400°C

建物の外壁の両面でのそれぞれの熱収支の和は、定常状態のとき0に等しい。よって外壁の内面から建家内空気に伝達される対流伝達熱 $Q_{c1}$ 略算値は次の式で表わされる。但し建物内の空気温度、外壁表面温度はその位置により複雑な値となっているのでここでは外壁内表面温度及び建家内空気温度との差を平均的な値とし、一様とみなす。また、実効放射を無視するものとする。

$$Q_{c1} = \frac{\alpha_{c1}(\theta_1 - t_{a1})}{\alpha_{c1}(\theta_1 - t_{a1}) + \alpha(\theta_2 - t_{a2})} \cdot \{aA J_s + \sum a\varphi(E_n - E_1)A_n\}$$

また、建家内の高温体から対流によって伝達される熱を $Q_{c2}$ 、加工用燃料の1時間当りの燃焼熱をFとすれば、建物の内部の空気に伝達される総熱量Qは、

$$Q = Q_{c1} + Q_{c2} + F \quad \text{となる。}$$

よって工場の成型作業場の室容積Vで除した値を発熱

強度とすれば計算結果は Table-7 のようになる。

$\alpha$  : 外壁外面の総合熱伝達率,  $\alpha_{c1}$  : 外壁内面の対流熱伝達率,  $\theta_1, \theta_2$  : それぞれ外壁の内表面及び外表面温度,  $t_{a1}$  : 建家内空気温度,  $t_{a2}$  : 外気温,  $T_1 = \theta_1 + 273$ ,  $T_h = \theta_h + 273$ ,  $\theta_h$  : 高温体表面温度,  $a$  : 外壁体および高温体表面の吸収率,  $A$  : 日射受照面積,  $A'$  : 建物の内表面または外表面面積,  $A_h$  : 高温体表面積,  $J_s$  : 直達日射と天空日射の和,  $\alpha_r$  : 外壁外表面と地物の間の輻射熱伝達率,  $\varphi$  : 壁体内面の高温体に対する全形態係数(計算では  $\varphi = 1$  とした)

高温体からの正味の輻射量は

$$\Sigma a \varphi (E_h - E_1) = \Sigma a^2 \varphi C_b \left\{ \left( \frac{T_h}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right\} A_h$$

である。  $C_b$  は黒体の輻射常数  $4.88 \text{kcal/hm}^2 \cdot \text{K}^4$

また計算を簡略化するため,  $\theta_1 - t_{a1} = 3^\circ\text{C}$ ,  $\theta_2 - t_{a2} = 5^\circ\text{C}$  水平面への  $J_s$  を  $700 \text{kcal/hm}^2$ ,  $\alpha_{c1} = 5 \text{kcal/hm}^2 \cdot \text{C}$   $\alpha = 20 \text{kcal/hm}^2 \cdot \text{C}$  と仮定する。

なお算定の基礎になった熱伝達率について記す。現場で発熱面附近の気流速度および表面温度を測定した結果から炉体周辺の気流速度は扇風機, 空気吹出口等の影響のある部分では様々な値となるが, それらの影響のないところでは大体  $2 \text{m/sec}$  以下で風向は一定でない。その他高温物体の周辺でも大同小異である。ただし, 開口部に近い部分のものは  $3 \text{m/sec}$  以上の気流にさらされることもあるが, これは無視して一律に熱伝達率を採用する。一般に任意の形状の物体のまわりの強制対流の場合の熱伝達率は複雑で特殊の場合の他は理論上求められない。

Jurges は表面  $50^\circ\text{C}$  の垂直銅板に  $20^\circ\text{C}$  の空気を面に沿って, 風速  $0 \sim 25 \text{m/s}$  で流し, 実験的に  $\alpha_{cv}$  の値を求めているが, それによると

風速  $v \leq 5 \text{m/s}$  の時

$$\alpha_{cv} = 5.3 + 3.6v \text{ kcal/hm}^2 \text{ (粗面)}$$

$$\alpha_{cv} = 5.0 + 3.4v \text{ (普通面)}$$

$$\alpha_{cv} = 4.8 + 3.4v \text{ (平滑面)}$$

である。粗面の場合の実験式を利用し,  $v = 2 \text{m/s}$  の時  $\alpha_{cv} = 12.5 \text{kcal/hm}^2$  となる。しかしこれは実験の設定条件からもわかるように温度条件が低い場合であるので高温物体面と空気層との熱伝達率をこの値をそのまま採用できず, 高温度差による影響を考える必要があるが, 未だ実験的にも求められておらず, 粗面に  $v = 2 \text{m/s}$  の気流が流れたときの  $\alpha_{cv}$  の値の  $30\%$  増を仮定する。この値を用い成型直後のガラス器,  $200^\circ\text{C}$  以上の炉体壁面からの対流熱伝達率の値  $\alpha_{cv} = 16.2 \text{kcal/hm}^2$  として発生熱量を算定するものとする。

次に Table-6 は工場において供給する燃料の使用量

Table-6 Total calory of a few sorts of the fuel burned in a works per an hour

	使用燃料	1時間当りの消費量	完全燃焼した時の発生熱量 kcal/h
L 工場	重油	96.0kg	$96.0 \times 10^4$
	プロパン	4.18kg	5.0
			計 $101 \times 10^4$
E "	重油	154.0kg	$154.0 \times 10^5$
	プロパン	1.0kg	1.2
	都市ガス	15.0m <sup>3</sup>	7.4
			計 $162.7 \times 10^4$
M "	重油	59kg	$59.0 \times 10^4$
	プロパン	0.4kg	0.5
	都市ガス	5m <sup>3</sup>	2.5
			計 $62.0 \times 10^4$
N "	重油	42kg	42.0
	石油	1kg	1.0
			計 $43 \times 10^4$
K "	重油	287kg	$287 \times 10^4$
	石油	25kg	25
	プロパン	3.33kg	4
			計 $316 \times 10^4$
O "	重油	71kg	$71.0 \times 10^4$
	プロパン	0.42kg	0.6
			計 $71.6 \times 10^4$

を調べ1時間当りの燃焼量を求め, 完全燃焼したものとみなして発熱量を算出した結果を記す。この値と室内に放散される推定熱量の比を求めたが, これを見るとK工場(自動製壘機による製壘工場)では燃焼熱の50%近くが室内に放出され, 残余は煙突から空中に, 又外壁, 屋根, 床面から, 外部または地面に放熱され, その他原料融解等に一部は費される。また, L工場でも燃料の総発生熱の42%程度が建家内に放散されている。これらの二工場共平家建であって他の工場(3カ所)では前述のように2階建て, 2階に成型作業場で1階の炉体の壁面からの発生熱量を上記の発生熱量算定の中に含んでいない。このため前の二工場よりも比の値が少なくなっている。燃焼熱量は重油  $10^4 \text{kcal/kg}$ , プロパン,  $1.2 \times 10^4 \text{kcal/kg}$ , 石油  $10^4 \text{kcal/kg}$ , 都市ガス  $0.5 \times 10^4 \text{kcal/m}^3$  として計算し, 燃焼使用量は過去数カ月の平均値から1時間当たりの使用量を算出した。また, 工場内の発熱源は前記の如くであるがその他として, 作業者の人身からの発熱, 諸機械からの発熱, 照明器具からの発熱など明確にその数値を把握することが出来ないが, 対流

による放熱熱量の合計の10%程度見込むものとする。また建物内放散熱量の中には、屋根、壁からの太陽の輻射熱による放熱量を含んでいる。

次に作業場の建家の容積を調べてみると、Table-7 のようになった。これより単位容積当たりの推定発熱強度は同表の如くであった。

Table-7 Approximate caloric intensity in some glassworks.

	Q kcal/h	建物容積 V(m <sup>3</sup> )	発熱強度 (kcal/hm <sup>3</sup> )
J 工場	44.0×10 <sup>4</sup>	3575	123
E	43.4 "	1990	218
M	22.7 "	987	230
N	14.9 "	1306	114
K	155.1 "	5460	284
O	13.0	1960	67

上表の中でM工場、K工場は実際に調査を行なっても強烈な熱気を感じた。この2工場の建家容積当たりの発熱強度は 218~284kcal/hm<sup>3</sup> で、割合涼しく感じた工場はL工場、O工場であって単位容積当たりの発熱量は 67~123kcal/hm<sup>3</sup> 程度となった。単位容積当たりの発熱量をもって発熱度を表す方法では、50kcal/hm<sup>3</sup> 以上の発熱強度をもつ工場を高熱工場と称するが、上表から調査した工場はいずれもきわめて高い高熱工場といえることがわかる。上記の結果を導く際、いくつかの値を仮定しておりその結果は精密な値とは言えないが、換気設計の基礎資料となすことが出来ると考える。

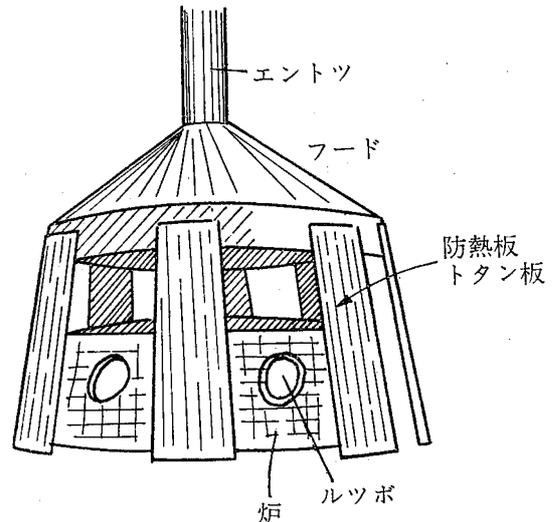
### 7. 炉体からの輻射熱と防熱板の設計について

大型自動壘製機を用いて壘等を製造している工場では溶解炉周辺での作業者は監督員の他は居らず、従って防熱施設は必要としない。しかしこの製造方式以外の手工業的な生産方式を行なっている工場では、炉体の中に設置されている坩堝より溶解ガラスを取り出し、炉辺で成型作業が行なわれるため、炉体周辺に多数の作業員が作業を行なうことになる。このため炉体からの強烈な輻射熱と熱気流により炉辺の作業場は暑熱地帯となる。こうした作業場の状況については既に以前より、労働衛生学の分野の研究者により実態調査も行なわれており、その物理的生理学的測定も行なわれてきた。いずれもそれらは労働衛生学のカテゴリーの中に止まるものであって、我々は工場建設計画のための基礎資料を積み重ねて行かねばならない。

前記のような手工業的な生産方式をもつガラス器具製造工場では炉体周辺に輻射熱を防ぐために波型トタン

板、あるいは木材の板を炉体上部のフードに立てかけるというような事が行なわれている。これでもかなりの直接輻射熱を防ぐことができる。しかしトタン板相互の隙間から内部の高温空気が流出する。ひどい工場の例では、Fig-6 のような状態で作業が行なわれている作業場

Fig-6 A bad example of the method of protection against heat



もあり、炉体周辺の防熱対策が全く考慮されておらずもっと改善されるべきである。

一般に作業終了後防熱板を取り除いて、炉体に附着した溶解ガラス屑を掻き落とす作業がどこの工場でも行なわれているようであるが、しかし坩堝口と防熱板との間に隙間を小さくすれば、毎日防熱板を取り除いて清掃する必要もなく、半固定的な有効度の高い防熱板を設置出来ると思われ、以下にその検討を行なってみた。

まず現在行なわれている方法についての調査結果はTable-5の通りである。炉体レンガ表面温度は測定位置によっても相違はあるが、大体200°C~300°C位で坩堝口に極めて近い点ではかなり高温度となると思われるが測定不能のため実測出来なかった。防熱板の表面温度も実測を行ったが、測定点によって様々な温度分布になっており、例えば坩堝口に近いところに置かれた板、あるいは重ねて立てかけた内側の板などはかなりの温度になっている。測定結果では44°C~187°C程度で、防熱板の使い方、材料により相違がある。調査した工場の大部分は軽微な防熱板を置いていたが、その中で、L工場では半固定的なしっかりした板を設置していた。その防熱板の表面温度の測定結果をみると他の工場の場合のように表面温度相互の値の差が少い。

上記の如く炉体上部の空気温度、炉体表面温、建物の壁体、床の表面温度の測定結果をもとに炉体の外周に設置する防熱板の設計について考えてみる。

防熱板を熱源の炉体にきわめて近くに置くものとした時、板の炉体からの輻射熱の入射面では定常状態の時、

$$-\lambda \left( \frac{d\theta}{dx} \right)_o = -\alpha_{c1}(\theta_1 - \theta'_o) + \frac{C_b \varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2} \cdot \left\{ \left( \frac{T_s}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right\}$$

その裏面では

$$-\lambda \left( \frac{d\theta}{dx} \right)_a = \alpha_{c2}(\theta_2 - \theta_o) + \varphi_2 C_b \varepsilon_2 \varepsilon_3 \cdot \left\{ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right\}$$

又防熱板の表裏面での境界条件から

$$-\lambda \left( \frac{d\theta}{dx} \right)_o = -\lambda \left( \frac{d\theta}{dx} \right)_a = \frac{1}{r_b} (\theta_1 - \theta_2)$$

であるので上記2式よりなる連立方程式を解いて  $\theta_1, \theta_2$  を求めることが出来る。 $(\theta_s, \theta_1, \theta_2)$  の値が常温附近の値で、その差が僅少な時は上記の式の4次元の項を1次元に置き換えて略算するのが普通であるが、この場合、 $\theta_s, \theta_1, \theta_2$  は高温でこのような扱いは適用出来ない、よって防熱板と平行な相対する単位面積への入射熱量は

$$Q_s = \varphi_3 C_b \varepsilon_1 \varepsilon_3 \left\{ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right\} \text{kcal/hm}^2$$

又防熱板がない場合の同位置の面に炉体からの直接入射熱量は

$$Q_s = \varphi_3 C_b \varepsilon_2 \varepsilon_3 \left\{ \left( \frac{T_s}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right\} \text{kcal/hm}^2$$

$$m = \frac{Q_3}{Q_s}$$

と置き様々な  $r_b$  の値の時の  $m$  の値を求め、防熱板の効果について調べた。

$\alpha_{c1}, \alpha_{c2}$  表面、裏面の熱伝達率 kcal/hm<sup>2</sup>

$\theta_s, \theta_1, \theta_2,$  熱源、及び防熱板両面の表面温度 °C

$\theta'_o, \theta_o$  防熱板表面、裏面近傍の空気温度 °C

$T_s, T_1, T_2$  それぞれ絶対温度 °K

$\varphi_2, \varphi_3$  防熱板とその周囲の物体及び外壁面、

防熱板とそれに平行に相対する単位面積との形態係数

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3,$  熱源面、防熱板面、防熱板とそれに平行に相対する単位面積面の輻射率

$r_b$  防熱板の熱伝導抵抗

$\lambda$  防熱板の熱伝導率

$d$  防熱板の厚さ

$C_b$  黒体の輻射常数 4.88kcal/hm<sup>2</sup>°K<sup>4</sup>

なお前記2式より下記の定数値を3通り仮定して計算してみた

$$\alpha_{c1} = \alpha_{c2} = 6 \text{ kcal/hm}^2, \theta_s = 250^\circ\text{C} \quad \theta_o = 35^\circ\text{C} \quad \theta'_o = 70^\circ\text{C}$$

$$\varphi_2 = 1.0 \quad \varphi_3 = 0.3 \quad r_b = 0.1, 0.3, 0.5$$

$$(1) \begin{pmatrix} \varepsilon_1 = 0.95 \\ \varepsilon_2 = 0.95 \\ \varepsilon_3 = 0.95 \end{pmatrix} \quad (2) \begin{pmatrix} \varepsilon_1 = 0.95 \\ \varepsilon_2 = 0.5 \\ \varepsilon_3 = 0.95 \end{pmatrix} \quad (3) \begin{pmatrix} \varepsilon_1 = 0.95 \\ \varepsilon_2 = 0.2 \\ \varepsilon_3 = 0.95 \end{pmatrix}$$

$\varphi_3$  は防熱板と相対する単位面積の形態係数であるが、ここでは  $\varphi_3 = 0.3$  の場合について計算した。実際に防熱板は炉体周囲をとりまく円筒曲面であるので一般に形態係数を求めるのは容易でないからである。

以上の計算の結果は Fig-7, 8 に示す通りである。この図から防熱板の効果は極めて大きいことがわかる。即ち Fig-7 において  $r_b = 0.3$  の防熱板を置いたと仮定すると防熱板の表面の輻射率  $\varepsilon_2 = 0.95, 0.50, 0.20$  のとき、防熱板と平行な計算例の位置における受熱量は防熱板を置かない場合のそのそれぞれ 0.095, 0.047, 0.016 倍となる。そして同じ材料の防熱板でも表面の反射率により大きな差があることがわかる。また防熱板を置いた場合の防熱板に相対する単位面積面の受熱量は  $r_b = 0.30$  の材料についてみると、防熱板の  $\varepsilon_2 = 0.90, 0.50, 0.20$  の時はそれぞれ 63.7, 31.4, 10.5, kcal/hm<sup>2</sup> となる。

次に防熱板の材料についてみると、3m/m の鉄板を外側板とし、石綿、岩綿あるいはガラス綿を内側に入れた材料の  $r_b$  の値は下記ようになる。

(1) 鉄板 厚さ 3mm  $r_b = 0.65 \times 10^{-4}$

(2) アルミ板 厚さ 3mm  $r_b = 0.17 \times 10^{-4}$

(3) 木材の板 (松材) 厚さ 30mm  $r_b = 0.21$

(4) 断熱材と厚さ 3mm の鉄板と合わせた場合

断熱材の厚さ	$r_b$ の値 (石綿+鉄板)	岩綿+鉄板	ガラス綿+鉄板
5mm	0.1	0.12	0.15
10mm	0.2	0.23	0.30
20mm	0.4	0.47	0.60
30mm	0.6	0.70	0.90

断熱材の厚さを厚くすれば、防熱板の表面温度は低くなり、空気層への対流伝達熱、輻射伝達熱も減少することは明白であるが著しい効果は増大しない。アルミニウム板を用いたとき、熱伝導率が大きいので両表面の温度差は少く、対流による熱伝達量は減少しないが図からもわかるように表面の輻射率が 0.2~0.3 程度で輻射伝達熱量は減少し、非常に効果がある。また、アルミニウム板に限らずトタン板、ブリキ板等でも、その表面の輻射率を小ならしめたものであれば、相当な効果が期待出来る。従って防熱板は熱伝導率は大きくても輻射率の小さな材料を外表面に、内表面にはガラス綿や岩綿の厚目のものを貼りつけた2重構造のもので最も望ましい。また、この業種の防熱板は炉体表面からの高温空気が作業

Fig-7 Theoretical surface temperature of a protecting plate.

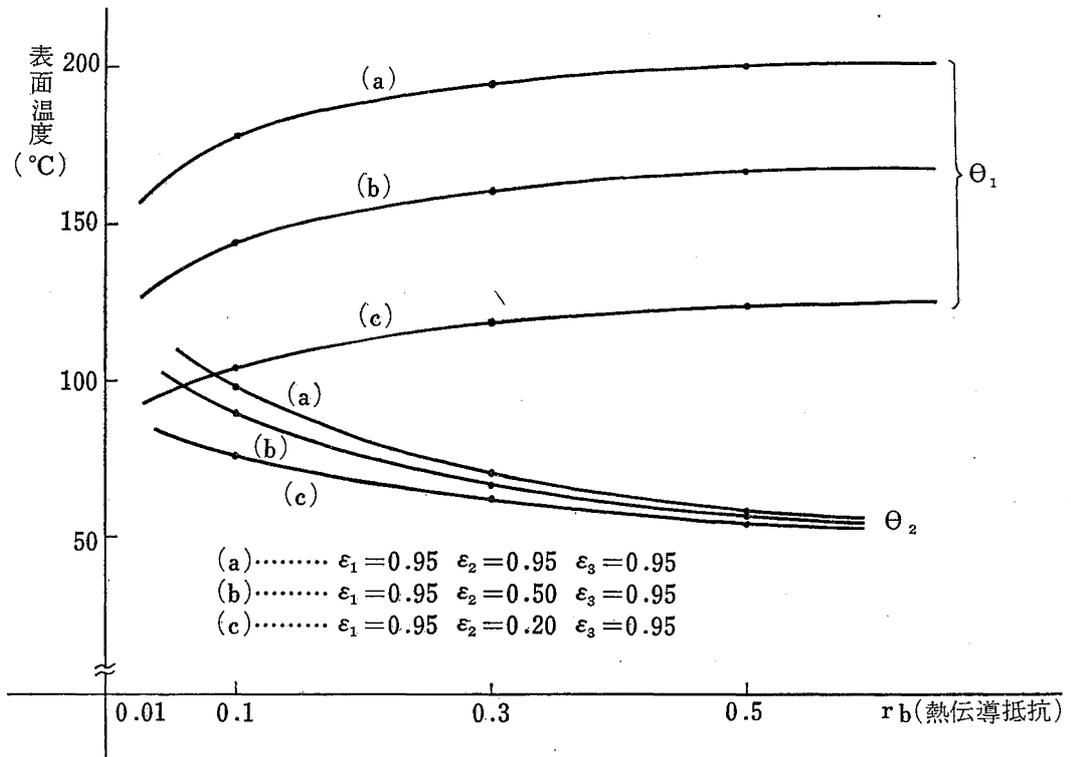
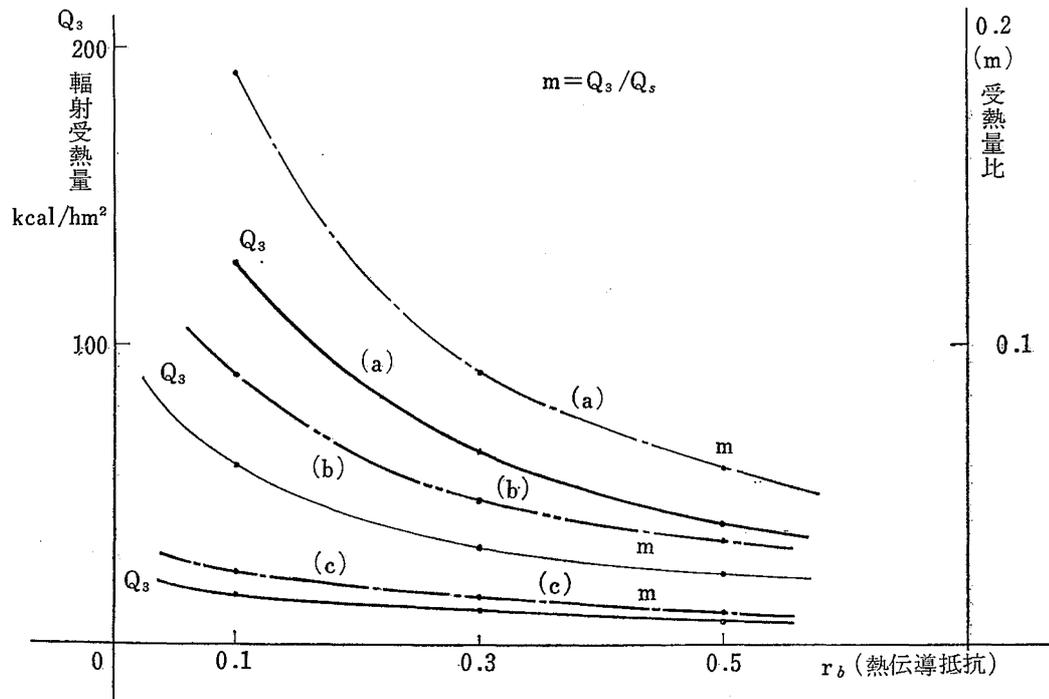


Fig-8 Relation between the quantity of radiation heat from a protecting plate and its resistance of heat conduction.



場に流出するのを防ぐ役割を果たすことが必要で、そこで防熱板相互の隙間が大きくならないようにしなければならない。

## 8. 結 論

- (1) ガラス器具製造工場の炉体を有する棟の発熱強度は、自動製壘工場等の大規模のものは、 $284\text{kcal/hm}^3$  となった。又半自動型機を用いている工場でも、炉体周辺の設備の整っていない工場では  $230\text{kcal/hm}^3$  と高い発熱強度を示すが、一般にこの種の工場で天井高さの高い工場の防熱板の設備の比較的良好な工場では  $120\text{kcal/hm}^3$  前後となり、この種の工場建家の換気設計にはこれらの程度の熱負荷を見込む必要があろう。
- (2) 炉体を有する棟の作業域水平面空気温度分布からもわかるように、主な熱の発生源はガラス原料融解炉からであって炉体の風下側に高温域が生じている。よって炉体からの熱伝達を制御することにより作業域の酷暑状態を軽減出来る。
- (3) 炉体周辺に設備される防熱板の設計に際しては、その外表面は輻射率の小さい材料で、内側には断熱耐火性の材料を用いた二重構造の防熱板を用いると効果がある。但し防熱板の断熱性を高くしてもそれに比例した効果はなく、実用的には外表面には  $3\sim 4\text{mm}$  厚のアルミニウム板か、又は光沢のある表面塗装をした鉄板を、その内側に  $10\sim 20\text{mm}$  程の岩綿を貼りつけたものを用い、また炉体内の熱気流が流出しないように隙間は出来るだけ少なくする。
- (4) 東京地方の夏季における最多風向と平均風速度は過去の観測資料によると南風で  $2.7\text{m/s}$  となっている。高熱発生工場では温度差を利用した換気のみでなく、棟方向、開口部の位置と形状、大きさ等上記の気象条件による風力換気を考慮した計画がなされるべきであらう。

- (5) 坩堝から溶解ガラスを取り出して成形作業を行う工場の建家は大部分 2 階建てで 2 階で成形作業が行なわれているが、敷地に余裕があればこれを平家建てとし、地下に炉体の焚き口を設けるようにすると建家の軒高を高くすることが出来、従って温度差による換気効果が増大する。なおこの場合半地下階にある焚き口周辺の炉体からの伝熱量は甚しく多量であるので建家内に放散されないで、直接外界に排出する必要がある。
- (6) 調査結果、作業環境について充分考慮した建築設計がなされていないところが多い。例えば、越屋根の大きさ、形状、階高、又窓、出入口の位置、断面積、原料調合室の換気（全調査中強制換気を行っているのは 1 ケ所のみであった）、その室容積等である。
- (7) 調査を行った工場の炉体を有する棟の温度差比は作業域温度のとり方に問題点はあるが、炉体の風下側の作業域の測定気温を採用するものとすれば  $0.24\sim 0.49$  となった。

## 参考文献

- (1) 建築学大系 No.8 伝熱論, 彰国社
- (2) 建築学大系 No.22 換気計画 "
- (3) 建築学大系 No.29 工場設備 "
- (4) 建築計画原論 I 渡辺 要編 日照及び昼光 丸善
- (5) 建築計画原論 II " 伝熱
- (6) 建築計画原論 III " 換気, 室内気候
- (7) 設計々画パンフレット No.18 換気設計 建築学会
- (8) 日本建築学会論文報告集 1966 大会講演要旨 石原正雄「製鉄工場の室内熱負荷について」
- (9) 工場通覧 1965 通産省編
- (10) 日本建築学会論文報告集 1962 中村泰人「防熱板の効果の基礎資料」

# 労働省産業安全研究所

東京都北多摩郡清瀬町梅園1丁目4番6号

MINISTRY OF LABOUR

THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

4,1-chome, Umezono, Kiyose, Kitatamagun, Tokyo, Japan