

換 気

強制換気を行う場合の二、三の注意

秋 山 英 司

1. 序 言

工場ではいろいろの場所から、有害粉塵やガス、蒸気が発生している。そしてその有害性や忍限度も無視されたままの環境で作業が行われている場合が多い。粉体類の運搬加工の際はもちろんのこと、研磨作業や塗装作業にはこの著しい例がある。

このような状態が続いているのは、その対策が経費を相当に要するものであることと、能率的な装置による万全な対策が余り期待できない事情によるものであろう。だが、徐々に生ずる人的面の害を無視して、この種の環境を持ち続けることは労働力の損失を招き、また施設面にも好ましくない影響を及ぼすものであるから、速かに対策を検討して実施に移さなければならない。

換気は自然風を利用して、空気の入れ換えをはかれば最も経済的であるが、常に、またあらゆる場所で能率的な風を考えることはできない。そこで換気装置を用いた強制換気がこの目的に沿うわけである。

換気排気装置は用途に応じて固定したものと移動でき

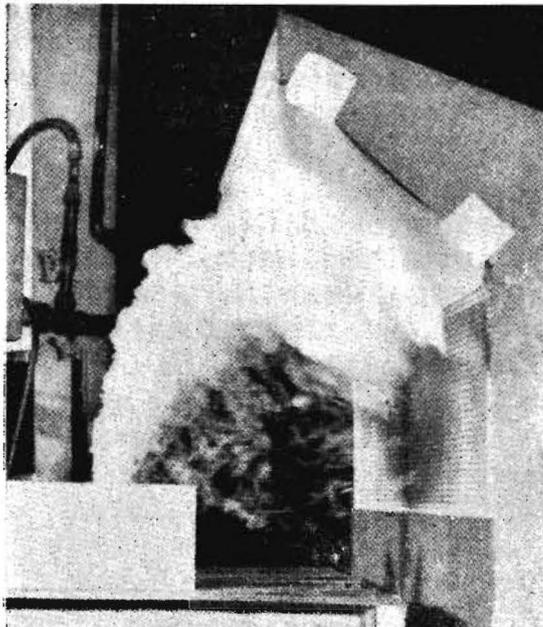


図1 局部排気装置

るものがあるが、後者は作業場所が移動する場合に使われるものであつて、現在のところこの例は比較的少ない。両者の本質的な違いは見当たらないが、固定排気装置は最もよい条件を事前に考えて設置できるのに対し、移動型のもは、作業に応じ使用方法が違ってくる。換言すれば前者は最も能率的な局部排気装置として使いうるが、後者は必ずしもこの線に沿うものとは考えられない。

換気装置を使用しない場合はもちろんのこと、局部排気装置を使用しても、その効果が十分でなく、あるいはよくきいていても有害物が他の所で取扱中発生する場合は、なお作業場全体の強制換気を考えねばならない。また通気の悪い所でしかも作業場所が移動するような場合は局部排気装置が使用しにくいので特に全体換気の立場から排気方法を決定する必要がある。

もちろん吸込口から室内空気を吸引する場合は、その一次的効果は図3に示すように、吸込口の近辺に見られるに過ぎない。われわれが装置を求める場合この第一次的效果を最大の対象として考えねばならぬことはいうまでもないが、全体換気の場合は吸引とそれに伴つて起る開口部よりの新しい空気の流入の結果から起る二次的效果が問題となる。これは次章以下を見れば明かである。

吸込口による吸引効果は、吸引量に較べて微力で、各

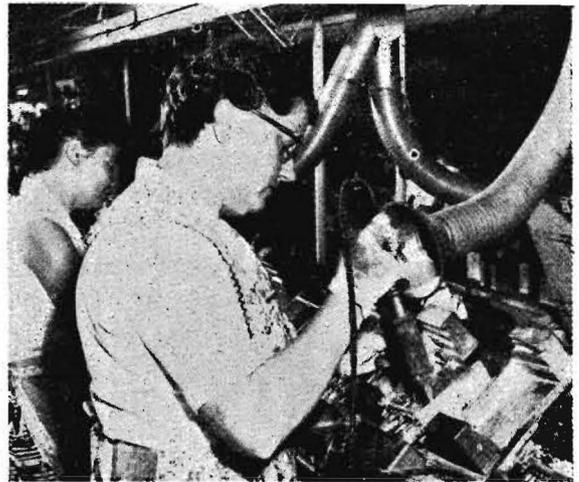


図2 溶接フェームを吸い込む可動排気装置

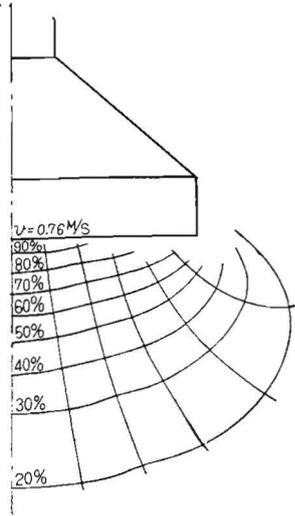


図3 フードの等速度線

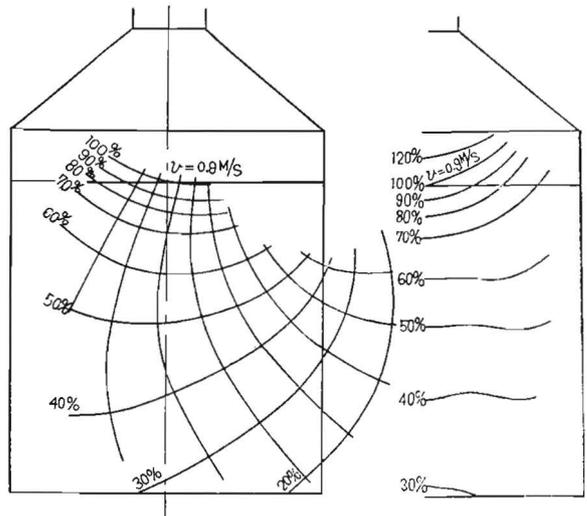


図5 三方向にカーテンを垂した場合の等速度線

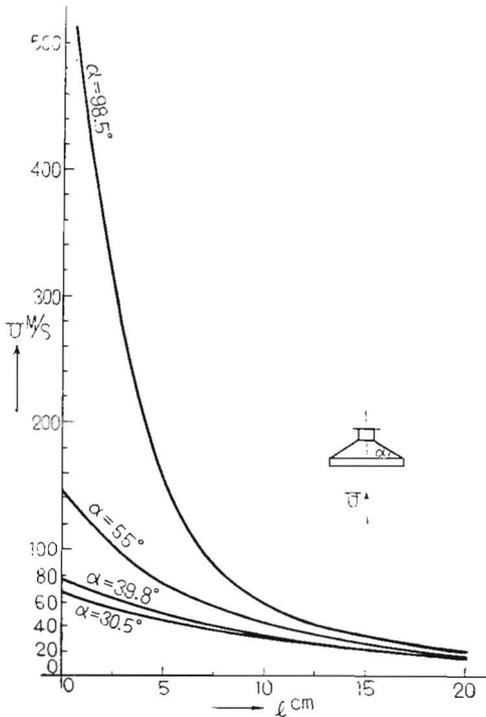


図4 フードの開口角による吸引速度の変化

点の空気速度は吸引量に比例して増し、吸込口からの距離の自乗に比例して衰える。一定の吸引量で最大の効果を出すためいろいろ形の吸込口が考案され、使用されているが、その性能にはおのずから限度がある。すなわ

ち吸込口の中心線上の速度分布は、図4に示すようになる。すなわち、吸込口の開口角による速度分布は、吸込口付近では比較的相違が大であるが、開口部の入口からの距離が少し大になると、その相違は微小になる。したがって、必要とする各点の吸込速度の増加をはかりたい場合は、吸引量を増加させるよりも、吸込口のフランジにカーテンをつけるなどして、不要な流入空気を抑制しなければならない。図5は一側面だけ開放した吸込口の空気流の状況を示すものであり、局部排気の必要な多くの場所に対しては、この種の方法がよく採用される。また普通型の吸込口に対して、二重吸込口が奨用されているが各点の吸込速度は入口近くを除いては前者と大差なく、ただ吸込口の周辺では高い吸込速度であるために、外気流等により攪乱されるおそれがある。図6

これに反して吹出し (Jet) の効果は、局部的ではあるが、遠距離まで及ぶところに特徴がある。実用機にあつては、数 m に達するのが普通である。

吹出しにおける空気流は、吹出し口の形状、寸度、四囲の状況や吹出し速度に応じて異なつた形をとるが、資料(1)にあるようにいずれの場合も吹出し流が元となり、室内気流が誘引され、かつ吹出流と混合しながら送られる(図6)。そしてそれが壁とか床面に当たるときは、図7に示すような渦を生じる。以上が吹出しに際し起る室内空気の流れの根源となるものである。吹出しに際し直進する空気流速は、円形吹出口の場合、口の近辺を除けば、吹出し口よりの距離に反比例して減少する。これより、吹出しは遠距離より作業場に新鮮な空気を送

つて有効な換気をはかることができ、或いは作業者に風をあてて、冷感を与えることができる。また換気とともに室内空気を攪乱し、有害物による局部的濃度化を避けられるし、あるいは送給用ホースの使用上の利点などから今後、より一層実用されるように思われる。

吹出しに際しての室内全空気流の状況は個々の場合で違いますが、換気効果を考える場合は、やはりこの点を念頭におかねばならない。

局部排気に吹出しを使用することは単独では困難で、吸込みと併用するのが普通である。その他吹出しはいわゆるエアー・カーテン式のやり方で空気流の制御にも使われる。

さて換気量は、一般に1時間当りに室内容積の何倍の空気を入れ換えたかを示す換気率で示される。しかし換気率は単なる設計上の目安であつて、実際の換気率は室内気流状況によつて計画換気率に対し非常に違いが出てくる。

今室内でガス粉塵が発生する場合、換気によりそれらの濃度がどれほど変るか考えよう。t時間後の濃度Cは最初の濃度をC₀、単位時間のガス粉塵の発生量をG、室の容積をV、換気量をQとすれば、

$$C = (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \frac{G}{Q} + C_0 e^{-\frac{Q}{V}t} \dots\dots\dots (1)$$

$$= (1 - e^{-at}) \frac{G}{Q} + C_0 e^{-at}$$

ただし、 $a = \frac{Q}{V}$ 換気率

最初室内にガス粉塵のない場合はC₀を0とおくと

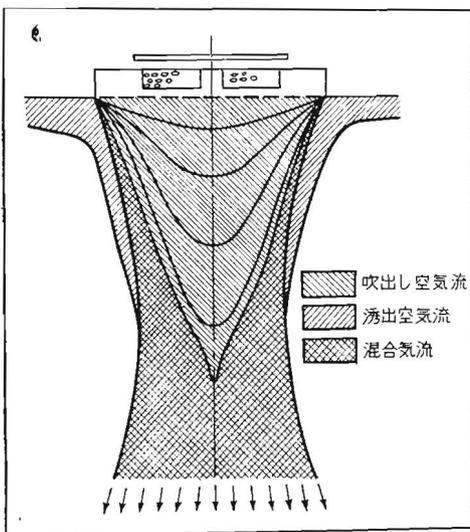


図6 吹出し

$$C = (1 - e^{-at}) \frac{G}{Q} \dots\dots\dots (2)$$

ガス粉塵濃度が一定限界C_lを超さぬための換気量Q_lは上式でtを∞とおけばよく

$$Q_l = \frac{G}{C_l} \dots\dots\dots (3)$$

で示される。すなわち、換気量はガスの発生量とその限度との比に等しく、これは極めて重要なことである。

また、最初室内の濃度がC₀で、以後ガス粉塵の発生がなく、換気を行なつた場合の濃度の減少は(1)式にGを0とおけば

$$C = C_0 e^{-at} \dots\dots\dots (4)$$

以上の諸式は理想的状態におけるもので、発生した有

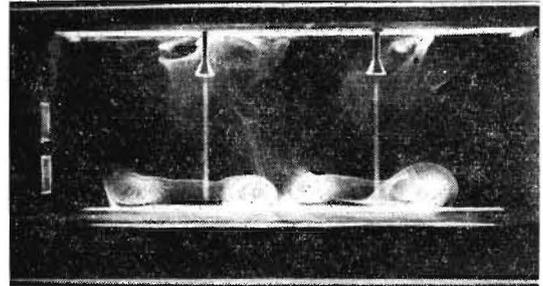


図7 吹出し (Jet)

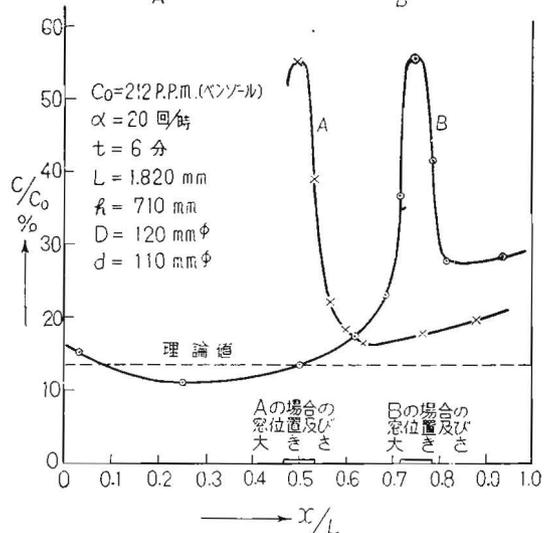
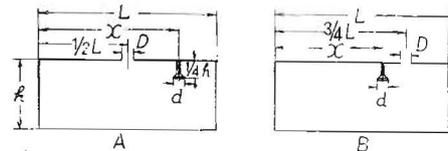


図8 開口部と吸込口に対する換気効果

害物と部屋に流入した新しい空気は夫々直ちに室内空気に均一に混合することを前提としたものである。

2. 密閉室における換気

前述のように、これらの諸式は単なる目安を与えるに過ぎない。かつて、寸度 1280×710×720mm の模型室において幾かの実験を行なつたが、その結果はこれを裏書きしている。

ガス、粉塵の発生点については、実験を複雑化するため無視した。先づ、ベンゾールの蒸気が一定濃度にある室内空気が、換気を行つた場合、開口部（空気流入口）と吸込口との位置が変わるに従つて、如何に稀釈されるかを調べた。すなわち天井吸込口の位置を一定にし、開口部の位置を変えた場合、毎時 20 回の換気を 6 分行なつて、室内濃度の減少度 C/C_0 を測定すると、図 8 の如くなる。吸込口が室の中央にあるときは、A 曲線で示され、 C/C_0 はその下部で最大となり、そこより左右に片寄るに従つて C/C_0 は急激に減少し、側壁に近づくに従つて再びやや上昇する。ここに C/C_0 の大小は換気効果の良、不良を示すものと考えられ、すなわち開口部が中央にあるとき、吸込口がその直下にあるときは換気効果は極めて不良で、吸込口が片側に片寄るに従い或る距離で効果は最大となり更に吸込口が片寄ると、次第に低下する。参考のためこの条件下での理想的状態を調べよう。濃度は勿論、開口部や吸込口の位置には無関係で、この減少後の濃度を C_{theo} で示すと (4) から $\frac{C_{theo}}{C_0} = 13.5\%$ となる。

図 8 の B 曲線は、開口部が一方に片寄っている場合である。やはり吸込口がその直下にあるときは、 C/C_0 の値が一段と高く、片側に片寄るに従い、或る距離で最少値を示し、後次第に高くなる。ただ注意すべきことは、A 曲線は左右対称であるが、B 曲線は非対称で、左側の広い部分に最小値——換気効果の最大の点——があることである。

(4) 式はまた

$$C/C_0 = e^{-\alpha t}$$

となる。すなわち理想的状態の C/C_0 は指数函数的に減少し α の値の大なるほど、 C/C_0 の減少度が激しい。

図 8 に示す結果は、吸込による室内空気の誘引と、特に開口部よりの吹出し流による室内空気の稀釈攪乱との相関によることが想像される。後者は開口部面積が小なるほど吹出し速度が大となり、室内の高さが低いときは著しい攪乱を起す。攪乱の大小が換気効果に相当の影響を与えるものと考えられるから、室内形状寸度の相違によつては、図 7 に示す結果との相違が考えられる。

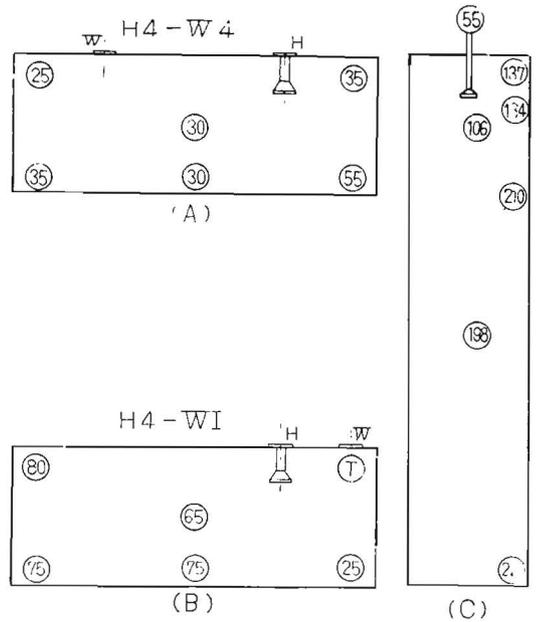


図 9 換気後の濃度分布

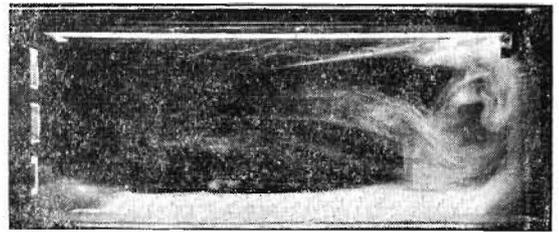


図 10 流入空気の循環

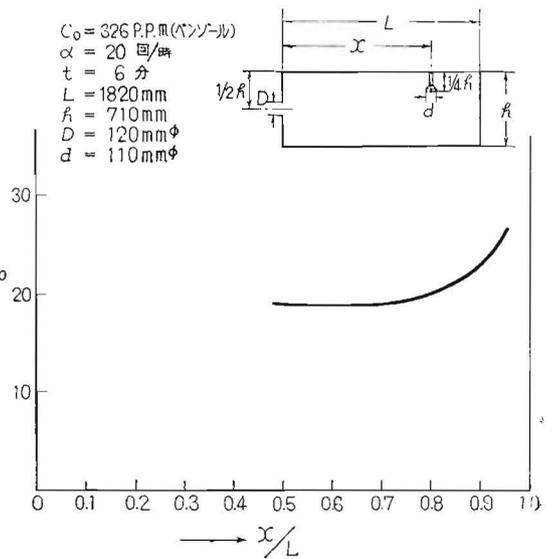


図 11 側方開口部に対する吸込口の換気効果

これは換気による各個所の濃度分布を測つても理解される。図9(A)(B)は前記密閉室における換気後の濃度分布で C_0 が約 260 p.p.m. のとき、各点の C の値を示している。即ち 図9(A) は開口部と吸込口が左右対称に配置されている場合であつて、開口部の直下とその周辺の蒸気濃度は比較的稀薄で、その反面吸込口下面の右側は著しく高く不良である。図9(B)は開口部と吸込口とがともに一侧に片寄つている場合で、吸込口の左側の相当な領域は、開口部よりの吹出し流の影響をさほど受けず濃度も極めて大であり、全体の換気効果も不良である。図9(C)は前者と形状を異にする容器(低面積 625 cm^2 、高さ 125 cm の円筒形で、上面の中心に開口部がありその中を吸込口の管が通過している)の実験結果で、深さが大きく、換気量が小さなため、吹出し流は底部まで到達できない。そのため開口部周辺の蒸気濃度が比較的稀薄なのに止り、容器底部の濃度は大である。

開口部の面積が大で流入速度があまり大でない場合には、攪乱よりも流入空気流の状態が大事である。特にこの場合は流入空気と室内空気との温度差が問題となる。

図10に示す形状の容器において、側方に開口部があるような場合には、温度差の正負によつて、循環流の方向が逆転することが見られる。この種の換気においてもやはり吸込口の位置が問題で、循環流の径路が大きくなるような位置に、吸込口を設けることがよいように考えられる。ただし循環流の期待できない場合は別である。

図8の模型室で行つた実験結果は 図11に見られるようにこの事実を裏書きするものである。

なお密閉室において、開口部がただ一つしかないような場合がある。この時開口部全体を吸込口或いは吹出し口として利用することの愚なことは、いうまでもあるまい。このようなときは開口部を通つて管を導き、その管によつて、給排気しなければならない。これについては後述する。

3. 隔壁をもつ密閉室の換気

隔壁のある密閉室は、船内二重底、各種タンク、橋梁

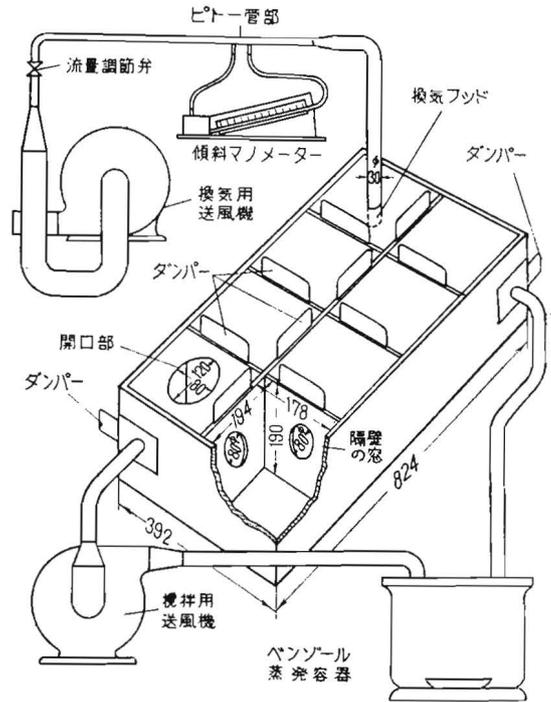


図12 密閉区劃室の換気実験装置

等に認められる。前述のものに較べ室内部に隔壁(補強壁)をもつ関係で、換気が一段と困難であることが想像される。もちろんこの種の隔壁の中心部は、作業者の往来できるだけ開口部をもっているのが普通で、その開口部は大体隔壁の中央に位置する。

このような条件下で換気が如何に行なわれるかを知るため、当所で行なつた実験を述べよう。

実験には 図12に示すような装置を使つた。模型密閉室は隔壁で隔離された同寸法の6個の小室を内蔵する。開口部としては、模型室の上部に1個または2個のマンホールをもつ。実験ははじめ密閉室内をベンゾール蒸気で均一な濃度にして置き、吸込口と開口部の各種組合せの下に、一定時間換気をし、各室の濃度分布を測定した。

表 1

NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
開口部			開口部
NO.5	NO.6	NO.7	NO.8

区劃室の名称

ダクト

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
C/C_0	61.3	56.8	49.7	41.6	53.1	60.4	57.1	46.8	53.3
備考			$\eta = 0.207$		$\eta' = 0.286$				

いま区劃室を上段左より No. 1, 2, 3, 4 また下段左より 5, 6, 7, 8 とし, (表 1 附図参照) No. 4 に開口部をおき, No. 5 の開口部の中心より管をさし込み, 毎時 22 回の換気率で 6 分間換気をしたときの, 各区劃室の濃度減少量は表 1 に示すようである. なお理想状態と比較するために

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \frac{C_{theo}}{C_m} \\ \eta' &= \frac{\beta}{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ただし C_m は各区劃室の濃度の平均値, β は C_m について測定結果より逆算した換気率である.

これは吸込口の配置としては, 比較的よいわけであるが各部の濃度は割合高く, 開口部のある周辺の区劃室と吸込口のある区劃室がやや稀薄である. 前者は開口部よりの流入空気による攪乱稀薄化のためであり, 後者は, 吸込口の周辺からの流入空気によるものと考えられる.

全体の換気効果ははなはだ不良で, 理論値にくらべ非常に劣っている.

次に開口部を No. 5 区劃室のみにおき, その中心より管を下げ, 換気をはかった場合は表 2 のごとくなる.

この場合吸込口の配置は極めて不良であることが予想される. 事実開口部のある No. 5 のみは吹出しと吸込によつて, 濃度減少が激しいにもかかわらずその影響は隣室程度で終り, 他の区劃室の濃度減少は極めて少ない. したがつて全体の換気効果は上らず, 換気目的は達せられまい. この場合この対策としては, 第 2 章で述べ

たように, 吸込口を No. 4 または No. 8 区劃室に配置することが是非とも必要になつてくる. これは前例において吸入口のある開口部を管の通る以外の部分を全部ふさいでしまつたことに相当するものである.

その換気結果は表 3 の実験結果から判る. ただし開口部を No. 4 におき吸込口を No. 5 に配置する.

表 3 よりこのような配置はきわめて望ましいことが判る. 換気効果は開口部のある区劃室が一番よく, 尚全区劃室とも効果は大である. ただし吸込口のある部屋は他の区劃室の皺寄せがある関係で, やや高いのはやむを得ない. 実際の作業にあつては, 吸込口は作業場所の反対側に設けるべきである. 全体の濃度低下も理論値に較べ一段と大きい.

この良性能は開口部と吸込口の配置に大きくよるものであつて, この種のやり方も, 両者の配置が適当でなければよい結果を期待することはできない.

試みに開口部を No. 1 に, 吸込口を No. 5 に配置した場合について検討しよう. その結果を表 4 に示す.

No. 1 および No. 2 は極めて濃度が薄くなりよろしいが, 他の区劃室には苦しい影響は認められない. すなわち流入空気は床面にあたり, 攪乱を起し周囲に拡がるが, 吸込口が隣りに位置するため, 乱流は深部まで達しがたいためである.

第 1 章に吹出しの効用をいろいろ述べたが, 本例に吹出しを利用するとどうであろうか. 次に比較のため吹出しを用いた場合の実験結果を示す.

表 2

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
C/C_0	60.4	73.5	82.1	93.1	45.9	63.6	76.2	89.3	72.7
備考	$\eta=0.151$			$\eta'=0.145$					

表 3

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
C/C_0	7.8	6.1	2.2	1.2	19.7	9.8	6.5	2.6	7.0
備考	$\eta=1.59$			$\eta'=1.21$					

表 4

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
C/C_0	2.4	14.6	34.1	47.9	28.0	31.1	41.6	52.9	31.6
備考	$\eta=0.35$			$\eta'=0.524$					

No.5 区割室に開口部をおき、その中心に管をさし込んで、吸込みの場合と同量の空気を床面に直角に吹出した場合、吸込の場合と同一時間後の各室の濃度変化は、表5のようであった。

すなわち換気後の吸込みの際の濃度に対する吹出しの際の濃度の割合は約 1.23 で、吹出しの方法をとった場合の方がやや成績がよい。これは吹出し流による強力な攪乱のためであるが、本例のような配置の場合は吹出しでもその効果は十分深部まで達しないことは吸込みの場合と同様である。したがって、他の条件を無視して換気効果のみを考えれば、吹出しの方が吸込みの場合より悪くはないことは確かであろう。

このような区割室をもつ密閉室の換気において、面白いことは、隔壁の開口部が全ての側壁に必要ではなく、むしろ開口部より吸込み口（あるいは吹出し口）に至る唯一の経路のみがあり、それがすべての区割室を通るよう、換言すれば密閉室の中に一本のトンネルを形成するごとく隔壁を設けている場合が最も良いことである。複雑な多数の区割室をもつ場合は、その路の長さが最小の場合が一番よいことはもちろんである。

たとえば、No.5 を管のみの吸込口とし、No.8 に開口部がある場合、No.2 と No.3, No.5 と No.6, No.7 と No.8 ととの隔壁が開口部をもたない場合を検討してみよう。そのとき開口部より流入した空気は、No.8, No.4, No.3, No.7, No.6, No.2, No.1, No.5 の順序に順次に通つて、吸込口から外部に排出されることになる。各室の濃度減少は、表6に示すように極めて低くなる。

なおこのトンネルが一部分しか形成されていないような場合は、換気効果は一般と見劣りするようになる。その他のいろいろな条件の影響は研究報告を参照されたい。

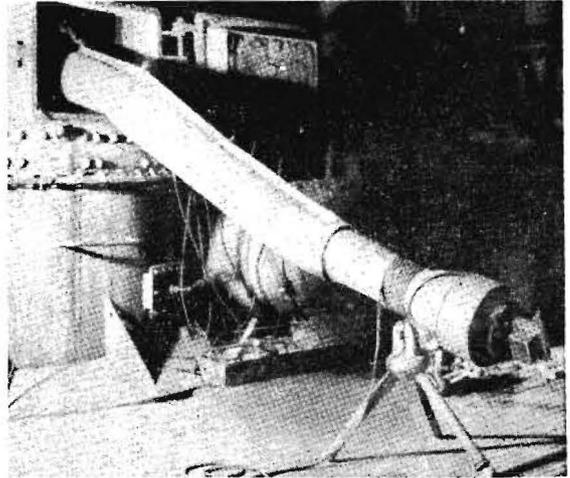


図13 携帯用換気装置を使用しているところ

4. 換気装置と使用基準

換気をはかるためには換気装置が必要である。換気装置を選択するためには、必要な換気量と静圧とをあらかじめ知らなければならない。

換気量は(3)で示す値を基本とし、安全率を考慮して倍加する必要がある。特に発生する有害物の絶対量を知るとは、確信ある換気装置の選択にあたっては是非必要である。実際には同一作業場で働く作業者の数が発生源の数とも考えられるので、作業員数が重要である。

たとえば同一室内での作業員数を m 、一人当りのガス、粉塵の発生量を g で示すと、

$$G = mg$$

$$\therefore Ql = \frac{mg}{C_l'}$$

(C_l' は安全率を加味した安全限界) …… (6)

$$\alpha = \frac{Ql}{V} = \frac{mg}{VC_l'} \dots\dots (7)$$

すなわち同一作業条件下では、換気率は部屋の容積に

表 5

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
C_i/C_0	49.3	59.1	70.4	82.8	11.2	52.0	66.1	80.1	58.9
備考	$\eta=0.188$			$\eta'=0.241$					

表 6

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
C_i/C_0	2.0	1.7	1.5	1.1	2.2	1.6	1.5	1.6	1.1
備考	$\eta=6.89$			$\eta'=1.88$					

逆比例し、作業者数に正比例する。部屋の容積が小さいと、濃度はすみやかに安全限界に達する。

静圧は、要所の吸込空気速度をうるために必要で、使用する管の長さにより大略決定される。注意すべきことは、特に細めの管が実用上望ましい訳であるが、ただし圧力損失は著しく高くなる。そこでファンの正規静圧以上の圧力損失を招くならば、換気量は低下し、初期の目的に合致しないことになる。

これは軸流ファンにもセントリフューガルファンについてもいえることである。ただ後者は静圧を相当高く得ることができるから、容積と重量の制限がなければ、造船業などにおいては好ましい場合が多いように考えられる。

携帯用換気装置は重量上の制限があり、精々 40kg 以下であることが必要である。米国製のあるものにあつては、軸流ファンの場合は、 $\frac{1}{2}$ 馬力、1,500 C.F.M. で 35kg 前後、セントリフューガルファンの場合は、 $\frac{1}{3}$ 馬力 300 C.F.M. で 35kg 前後とある。ただしいずれもホースの重量は別である (図13)。



図14 マンホールに管を入れて換気している

表 7

V/m 立方呎	α				
	$\frac{3}{8}$ in 径溶接棒	$\frac{5}{16}$ in 径溶接棒	$\frac{1}{4}$ in 径溶接棒	$\frac{3}{16}$ in 径溶接棒	$\frac{5}{32}$ in 及びそれ以下の溶接棒
180,000	1.00				
170,000	1.06				
160,000	1.12				
150,000	1.20				
140,400	1.27	1.00			
140,000	1.28	1.01			
130,000	1.33	1.03			
120,000	1.50	1.17			
110,000	1.64	1.23			
100,000	1.80	1.40			
90,000	2.00	1.57			
80,000	2.25	1.76			
79,800	2.26	1.77	1.00		
70,000	2.57	2.10	1.14		
60,000	3.00	2.35	1.33		
50,000	3.60	2.82	1.60		
48,000	3.75	2.93	1.66	1.00	
40,000	4.50	3.52	2.00	1.20	
31,800	5.66	4.42	2.50	1.51	1.00
30,000	6.00	4.70	2.66	1.60	1.06
20,000	9.00	7.10	4.00	2.40	1.59
10,000	18.00	14.00	8.00	4.80	3.18
5,000	36.00	28.10	16.00	9.60	6.35

換気装置の能力が定まれば、使用場所に応じて、作業
者数がきまる。すなわち (6) から

$$m = \frac{Ql C_l'}{g}$$

もちろんこの場合も、有害物の発生量を知ることが必要
である。

あるいは(7)は次のように書き換えられる。

$$\alpha = \frac{g}{\frac{V}{m} C_l'} = \frac{K}{\frac{V}{m}} \dots \dots \dots (8)$$

ただし、 $K = \frac{g}{C_l'}$

すなわち作業がきまつておれば、1人当りの作業場の容
積から、所要の換気率が算出される訳である。資料(2)に
よれば、溶接作業における V/m に対する所要 α の値を
次のように示してある。

作業場の V/m の値が表の値の間にある場合は比例
的に α を算定すること、また使用する溶接棒の 25% 以
上より大きな径のものであれば、その径についての α
を算定することとの註がある。

ただこれらは一般的な溶接棒についてで、アルゴン各
種溶接や亜鉛メッキ等の特殊な被覆のあるものの溶接、
あるいはアークエアーガウジング等のかかりの有害物の
発生するおそれのあるものについては、なお別に考慮す
ることが必要であろう。

参 考 文 献

1. E. J. Kurek "Wide Area, Low Velocity Air Diffusion", Heating and Ventilating, Oct, 1954
2. American Foundrymen's Society "Engineering Manual for Control of In-plant Environment in Foundries".
3. 秋山, 近藤, 袴塚他: 局部排気装置に関する研究 労働省産業安全研究報 No.2, 1955.
4. 秋山, 近藤, 頓所: 工場内換気に関する研究 同上 No. 2, 1955.
5. J. M. Dalla Vaile: Exhaust Hoods.