

エア・カーテンによる有害ガスおよび塵埃の遮断

大阪大学工学部 新 津 靖
大阪府立大学工学部 加 藤 孝 夫

1. は し が き

製造工場において発生する有害ガスや塵埃が製品の品質や作業員の保健に悪影響を及ぼすので、できるだけ有効にこれと隔離し、あるいは排除することが要求される場合が多い。従来この目的のためにいろいろの形式のフードが用いられているが、製品の種類、作業方法あるいは工程の如何によつてはエア・カーテンを応用すると、比較的少ない排気量で遮断効果あるいは局所排出効果をあげ、しかも作業能率を向上させることができる。

エア・カーテンは空気噴流を吸込口で受け、これによつて噴流の両側の空気を遮断あるいは排出に応用したものをプッシュ・プル装置とすることがある。したがつて、この設計にあつては、まず自由噴流の特性を明らかにしなければならぬので、われわれはこの研究を行ないつつ、一二の装置を設計した。

2. 自由噴流の特性

一般に有限寸法の噴出口からの等温噴出気流は、第1図のように噴出口付近をポテンシャル・コア部と称し中心速度が噴出速度と等しくて一定である。また噴出口から相当遠く離れた部分を完全展開部といい、中心速度は噴出口からの距離に反比例して減少する。この両者の間に中心速度が噴出口からの距離の平方根におおよそ反比例して減少する遷移部がある。これら三部分の相対長さは噴出口の形状によつて多少異つている。円形噴流およ

び平面噴流（無限平行スロットからの噴流）ではポテンシャル・コア部は噴出口直径あるいはスロット幅の約5倍程度であると考えてさしつかえない。しかして、円形噴流では遷移部が短かくて分明でなく、また平面噴流では完全展開部を欠いている。

エア・カーテンとして用いられる噴出気流は平面噴流か、または平面噴流とみなしうる程度に縦横比が大きい長方形噴流である場合が多い。自由噴流の特性を理論的に解析するには、運動量や渦度の輸送理論から出発する方法¹⁾もあるが、これらの方法によると任意形状の噴流を解析することがむづかしく、また数式の取り扱いが非常に煩雑になる。しかし、Reichardtの運動量拡散の理論²⁾に基づく解析式は噴流の重ね合わせが可能になり取り扱いも比較的容易であるので、著者らはこの理論に基づいて平面自由噴流の特性を求めた³⁾。

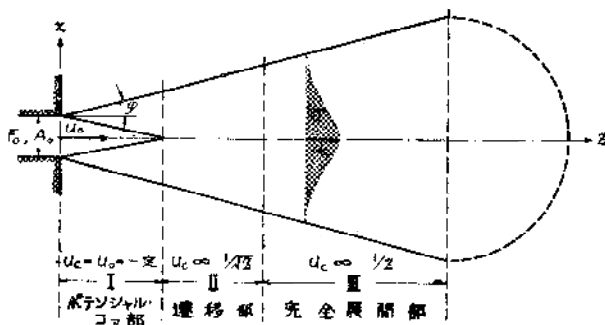
噴流中心速度 u_c 、噴出距離 z に対する変化は、吹出速度 u_0 、および吹出口スロットの幅 A_0 を基準にとつて無次元量であらわすと

$$\frac{u_c}{u_0} = \sqrt{\phi\left(\frac{6.25}{z/A_0}\right)}$$

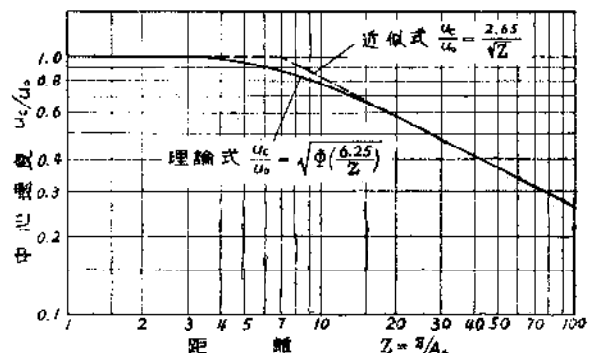
$$\text{ここに } \phi(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-t^2} dt = \text{誤差関数}$$

となり、第2図中の実線のようになる。この図からもわかるように、 $z \leq 5A_0$ すなわちスロット幅の5倍程度まで吹出口から離れても噴流の中心速度はほとんど変化なく、いわゆるポテンシャル・コア部である。また $z \geq 10A_0$ すなわちスロット幅の約10倍以上離れた位置では、図

第 1 図



第 2 図



中の破線で示されるような次の近似式を用いても実用上さしつかえない。

$$\frac{u_c}{u_0} \approx \frac{2.65}{\sqrt{z/A_0}} \quad (z/A_0 \geq 10)$$

これらの関係式を用いると吸込口におけるエア・カーテン噴流の最終中心速度を求めることができる。これは一般には 2.5~3m/s 以上にすればよい。しかし、有害ガスや塵埃の遮断を目的とする場合は、これらの有害物質が外へ洩れて逸散するのは好ましくないから、3~4 m/s以上にとつた方が安全である。

噴流の展開角 φ はポテンシャル・コア部で約9°、完全展開部で約11°であるが、概算的には10°と覚えてさしつかえない。したがって噴流の幅 A_j は

$$A_j = A_0 + 0.353z$$

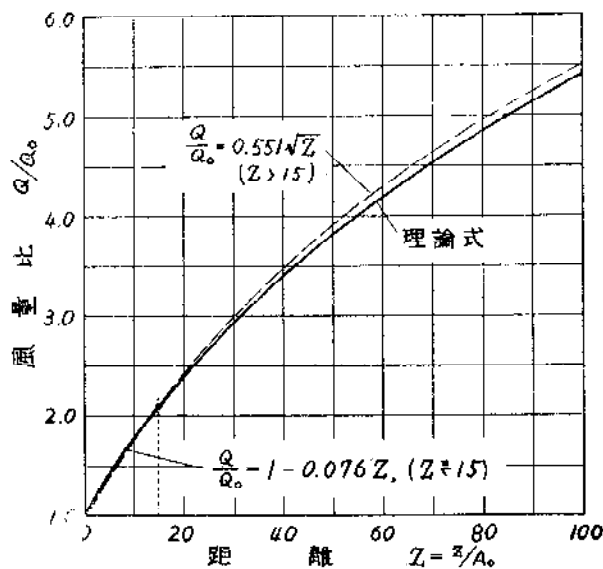
で求めることができる。しかし、有害ガスの遮断除去に応用する際には、後述のようにこの角度をもう少し大きくとることが必要である。

自由噴流は周囲の空気を噴流中に誘い込んで、噴出口を遠ざかるに従ってその風量は増加する。噴流軸に直角な任意断面を通過する風量 Q と噴出口風量 Q_0 との比 Q/Q_0 は近似的に次式で求められる。

$$\begin{aligned} \frac{Q}{Q_0} &\approx 1 + 0.076 \frac{z}{A_0}, & (z \leq 15A_0) \\ &\approx 0.551 \sqrt{\frac{z}{A_0}}, & (z > 15A_0) \end{aligned}$$

この関係を図示すると第3図中の破線のようなになる。図中の実線で示す曲線は Reichardt の噴流理論に基づく

第3図



厳密解であるが、エア・カーテンの吸込口における風量を求めるような実用的な場合は上記近似式を用いて十分である。

3. 噴流中へのガスおよび塵埃の透過

平面噴流中に透過するガスの濃度については著者の研究室で実験中であるが、Reichardt の理論に立脚して濃度分布を求めると、おおよそ次式で表わしてさしつかえないと思われる。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \phi \left(\frac{2(x/A_0) - 1}{0.16(z/A_0)} \right) \right\}$$

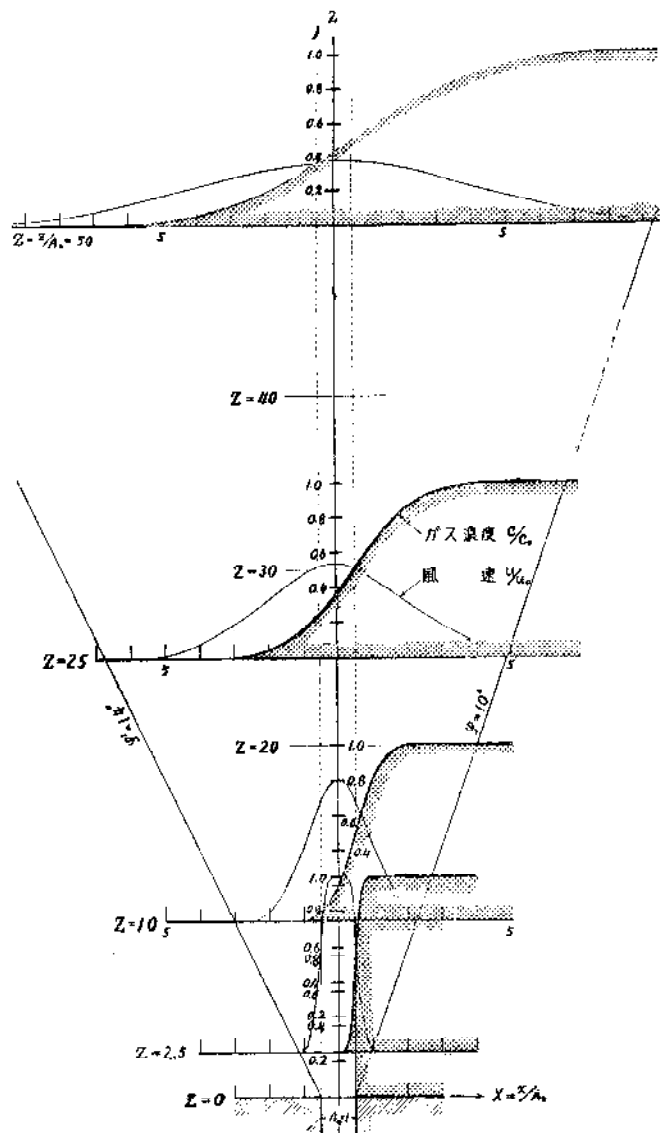
ただし C = 噴流中のガス濃度,

C_0 = 透過前のガス濃度,

第4図はこの関係を示したもので、濃度は噴流中へ進むに従って減少している。噴出口一端の延長線上で50%になり、微量であるが噴流の反対側の周辺近くまでガスは透過している。したがって、第1表に示すような制限度が小さいガスを遮断する目的のエア・カーテンに対しては、噴流の展開角を 14° 程度に考えた方が安全である。

噴流による塵埃の遮断効果は、噴流の幅、速度、エア

第4図



第 1 表

有害ガス、煙気の容限度（労働省通達）

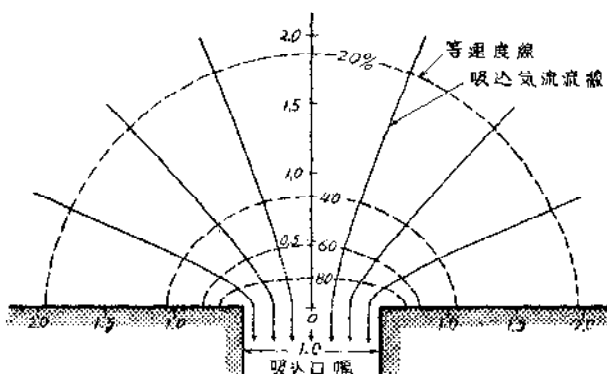
砒素	1 ppm	二硫化炭素	20ppm
塩素	1 "	ベンゼン	100 "
塩酸	10 "	一酸化炭素	100 "
青酸	20 "	鉛	0.5 mg/m ³
硝酸	40 "	クロム	0.5 "
燐	2 "	硫酸	5.0 "
アニリン	7 "	水銀	0.1 "
亜硫酸ガス	10 "		

・カーテンの長さ、および塵埃の形状、寸法、比重量、噴流への近より速度によつて影響を受ける。最悪条件の場合、垂直に吹き上げる噴流に塵埃が混入する場合と考えてよいが、この場合気流速が塵埃粒子の自由落下の最終沈降速度以上であることを要する。最終沈降速度は比重 2.5 の砂粒を例にとり、形状を簡単にするために球粒子と仮定すると直径 0.5mm で 1.9m/s、0.1mm (100 μ) で 0.75m/s になる⁴⁾。スプレー・ガンによる塗装やサンド・ブラストなどの場合は、粒子が大きく近より速度も大きい場合があるが、一般に浮遊する塵埃は直径 10~100 μ 程度⁵⁾であるから、粒子同志の相互干渉を考慮に入れてもエア・カーテンの吸込口における中心速度を 3~4 m/s 以上にすれば十分に遮断の目的が達せられると考えてよい。

4. 吸込口の影響

静止空気が無限長のスロットへ吸込まれるときの流線および等速度線は、理論的には第 5 図のようになる。吸込口からその幅だけ離れたと中心線上の風速は吸込風速の 35% 前後になり、さらに遠ざかるに従つてますます小さくなる。したがつて、自由噴流をこのような吸込口で受ける場合、吸込口からその幅に等しい距離以上離れておれば、実用的には吸込気流の影響を受けないと考えてよい。エア・カーテンの設計において吸込ファンの容量を定める際、計算値が安全側になるから吸込口における自

第 5 図

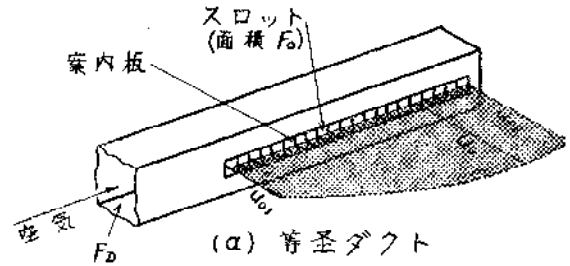


由噴流の残留速度は無視してさしつかえない。

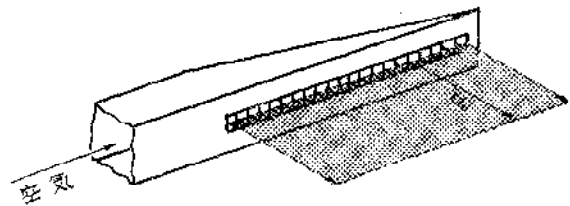
5. 吹出口スロット

吹出口スロットは吹出気流の風速分布を均一にするために空気室を設けた方がよい。空気室は第 6 図 (a) のような等径ダクトにすると、ダクト内の静圧回復のためにダクト終端に近づくにしたがつて吹出速度が大きくなる。理論的には断面積が直線的に減少する第 6 図 (b)

第 6 図



(a) 等径ダクト

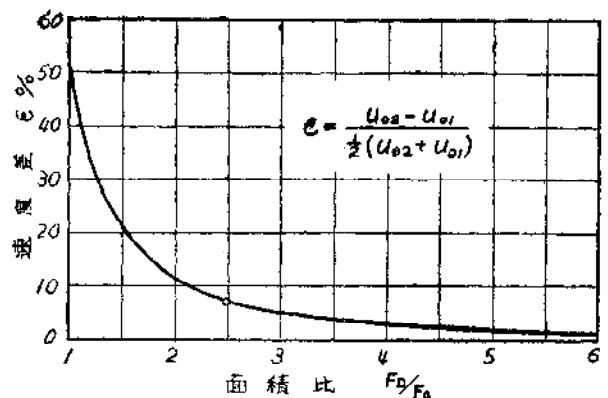


(b) 勾配ダクト

のような勾配ダクトを用いると均一風速にすることができ⁶⁾。しかし、等径ダクトでもその断面積 F_D を吹出口面積 F_0 の 2.5 倍以上にすれば、第 7 図に示すように吹出スロット両端の風速差を平均風速の 10% 以下にすることができるから、実用上はさしつかえない。空気室には吹出口の手前に多孔板を挿入すると、給気ファンの容量は多少増加するが噴流の整流効果をさらに上げることができる。

スロットからの吹出気流の方向は、ダクト内流速の影響を受けて、吹出口面に垂直とならずにある角をなし斜

第 7 図

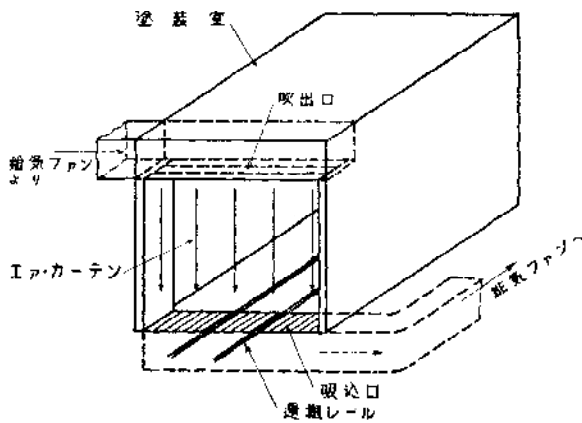


に噴出するから、スロットの補強を兼ねて気流の案内板を適當間隔に挿入しなければならない。噴流の吹出速度 u_0 は 10m/s 程度が適當である。あまり高速にすると騒音が発生するから 20m/s 以上にしない方がよい。

6. 応用例

第8図は塗装室、乾燥室の出入口などのように側壁の開口面積が大きい場所にエア・カーテンを応用した配置の一例である。このような場所にエア・カーテンを用いると、ブース、天蓋、フロア・スイープなど他の排気装置に比べて、ファンの容量が小さく、しかも有効に外気

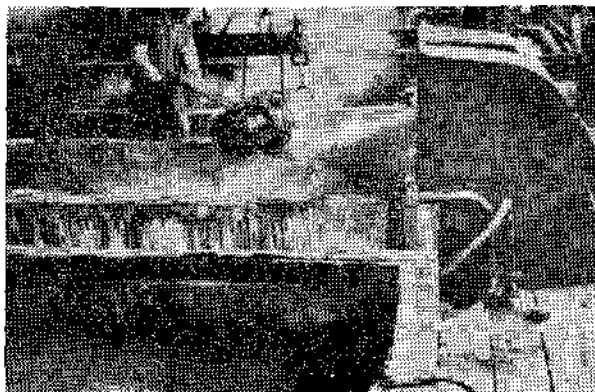
第 8 図



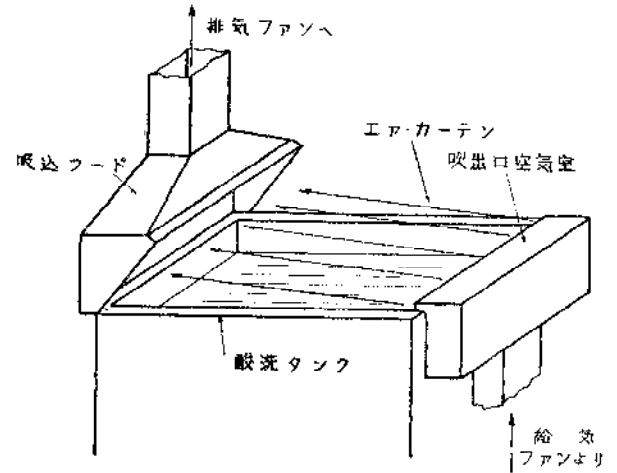
と遮断ができる。第9図は脱脂、酸洗、メッキ作業などで有害ガスを発生するタンクに応用したプッシュ・プル装置の配置例で、タンクの全液面から多量に有害物を発生するようなときには特に有効である。同様の原理のも

第 10 図

メッキ工場の酸洗タンク（プッシュ・プル装置運転中の硝酸補給作業）



第 9 図

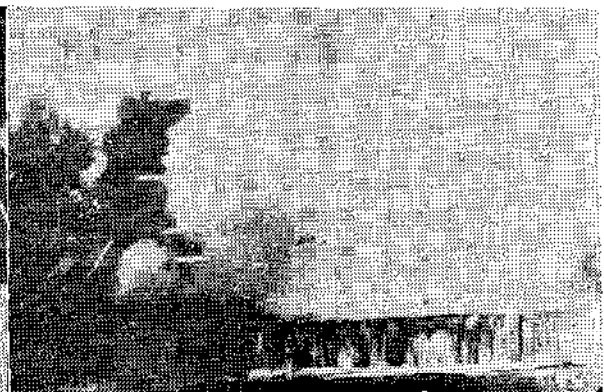


とに研磨作業、粉碎作業、篩別作業などの局所排出装置に応用することもできる。さらにまた、原子力産業における放射性塵埃の有効な除去排出手段としてこれの応用が考えられる。

第10図～第12図は著者の計画と指導のもとに取り付けたエア・カーテンの実施例である。第10図と第11図はメッキ工場において表面積 $1.5 \times 3.0\text{m}^2$ の酸洗タンクにプッシュ・プル装置を応用したものであり、第12図は化繊工場において紡糸機にエア・カーテン（高さ1.0～1.6m）を応用したものである。これらの写真でも明らかなように、エア・カーテンを取り付けたことによつて有効に内部の有害ガスを遮断することができ、しかも作業能率をあげることができた。

第 11 図

メッキ工場の酸洗タンク（プッシュ・プル装置停止中の硝酸補給作業）



以下28頁へ)

(32頁より続く)

- 注1) Pai : Fluid Dynamics of Jets. 1954
- 2) H.Reichardt : Z.A.M.M. Bd. 21, Nr. 5 (1941)
- 3) 新津, 加藤 : 衛生工業協会誌第32巻, 第10号
(昭和33年)
- 4) 機械工学便覧 (昭和26年)
- 5) 建築設備ハンド・ブック (昭和34年)
- 6) 新津, 倉橋 : 衛生工業協会誌 第31巻, 第2号
(昭和32年)

第12図 化繊紡糸機に応用したエア・カーテン

