

# ステファン型拡散セルにおけるガス流速の影響\*

長坂 實 上\*\*

(昭和49年 8月10日受理)

## The Effect of Gas Velocity on Diffusion Coefficients at Stefanian Diffusion Cell.

Minoru NAGASAKA

Abstract:—The effect of gas velocity on diffusion coefficients was studied. Generation and mode of the eddies near the mouth of diffusion tube were observed with the models by use of dry air and water. Dry air was passed through the diffusion cell models with the diffusion tube of 8 or 10 mm in diameter. Water was let to flow in the models of 30 or 50 mm in width. It was clear that when Reynolds number based on diffusion tube diameter reached at 300 the eddy was developed. At the experiments using of diffusion tube of 1.0 mm in diameter and gas flow rate of 250 ml/min, Reynolds number reached about 45 and then the eddy did not generate. It was not necessary to correct the diffusion path length for the eddy.

### 緒 言

ステファン型拡散セルによる気相拡散係数の測定は実験方法も簡単でしかも比較的精度の良い結果が得られている<sup>1), 2), 3)</sup>しかし、この実験においてはいくつかの仮定があり、それらについてはこれまでも検討されたがまだ不十分である。ここではガス流速(ガス流量)による拡散路の変化すなわち、拡散チューブ上端付近での渦の発生について検討した。

### 理 論

ステファン型拡散セルにより拡散係数を算出するためには次式を用いる<sup>4)</sup>

$$D_{AB} = \frac{Z_0^2 - Z_0^2}{2\theta} \cdot \frac{RT\rho_L}{M_L} \cdot \frac{P_{BM}}{P_{A1} - P_{A2}} \quad (1)$$

ここで、 $Z_0$ および $Z$ はそれぞれ時間 $\theta$ および $0$ における拡散路の長さである。

拡散チューブは理想的にはFig. 1 (a)の如きであるが現実にはFig. 1 (b)のようであろう。気液界面は表面張力によりメニスカスとなる。その部分の高さを $\Delta Z_s$ とすると拡散路の下端の断面平均の位置は $\Delta Z_s$ の間になる。

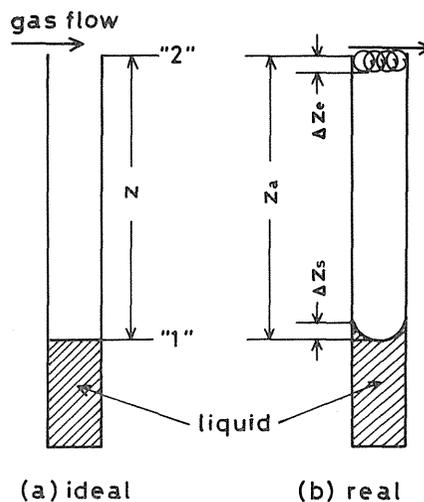


Fig. 1 Models for Application of Theory.

また、この $\Delta Z_s$ の値は直接測定することができる。これに対し、拡散チューブ上端付近での乱れ(渦または混合)による拡散路の減少量を $\Delta Z_0$ とする。本研究ではこの $\Delta Z_0$ について検討した。今、拡散路が $Z$ ではなくて $(Z$

\* この報文を「気相における拡散係数の研究(第5報)」とする。

\*\* 茨城大学工学部工業化学科(日立市中成沢町)

$-dZ_0$ )であったとする。ただし  $dZ$  の値は  $Z$  の値に関係なく一定であり、ガス流速に依存するものとする。(1)式は次のようになる。

$$D_{A'B} = \frac{(Z_\theta - dZ_0)^2 - (Z_0 - dZ_0)^2}{2\theta} \cdot \frac{R T_{0L}}{M_L} \cdot \frac{P_{BM}}{P_{A1} - P_{A2}} \quad (2)$$

(1)式との比をとると

$$\frac{D_{A'B}}{D_{AB}} = 1 - \frac{2dZ_0}{Z_\theta + Z_0} \quad (3)$$

となる。これがガス流速により拡散路の長さが  $dZ$  だけ短くなったときの拡散係数への影響の式である。(3)式の右辺第2項が1に比し十分小さな値となり実験誤差内であれば  $dZ$  に対する補正を行なう必要はない。また、メニスカス部分における拡散路の変化の影響も(3)式により補正しうる。

実 験

使用されている拡散セルの代表例をFig.2に示した。

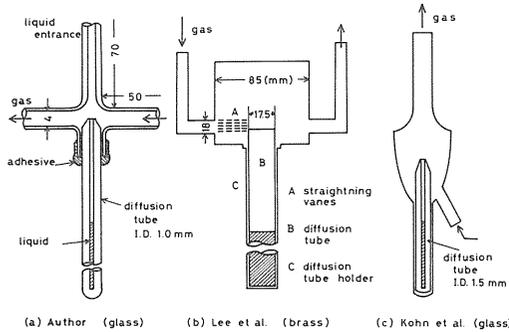
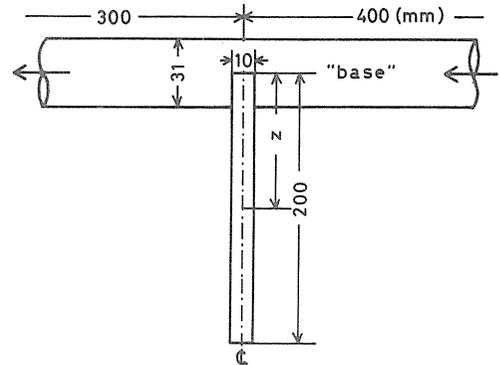
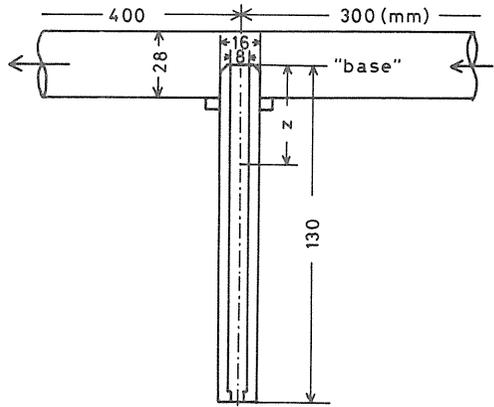


Fig. Diffusion Cell .

ガスは拡散チューブ上端に直角に流れるかまたは斜下方より流す。しかし、Fig.1と考えあわせたととき、Fig.2(a)および(b)が妥当である。また、拡散チューブ内径は著者やKohnらの内径1mm前後のものよりLeeらの17.5mmのものまでである。そこでFig.3に示す拡散セルモデルを作り速度分布を実測した。タイプI-Aはガラス製であり製作の精度はやや落ちる。真鍮でタイプI-Bも作り測定に使用した。ガスは乾燥空気(ポンベ詰)を使用した。ブロワーを使用した実験も行なったがブロワー自体の脈動により測定精度が低下し、流れ自体による振動とブロワーの脈動の区別が出来ないので取り止めた。流速の測定には日本科学工業(株)製の定温度法熱線流速計を使用した。また、そのとき使ったプローブおよびセンサーは



(a) Type I-A (glass)



(b) Type I-B (brass)

Fig. 3 Diffusion Cell Model I (for air).

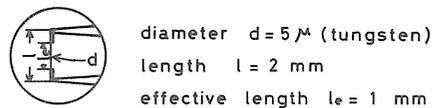
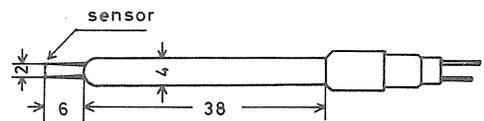


Fig. 4 Probe and Sensor for Hot Wire Anemometer.

Fig.4に示してある。さらに拡散チューブ上端付近での乱れ(渦)の様子を直接観察するためにFig.5のような二種の水路を作り、アルミ粉末を浮かせて可視化し写真に撮った。

実験結果および考察

モデルI-AおよびI-Bでの実測結果はFig.6お

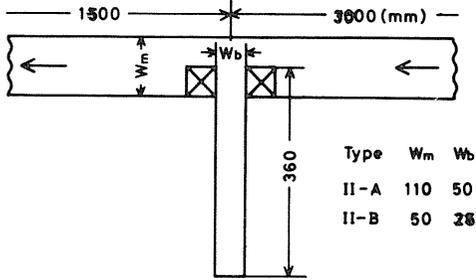


Fig. 5 Diffusion Cell Model II of Open Channel (for water).

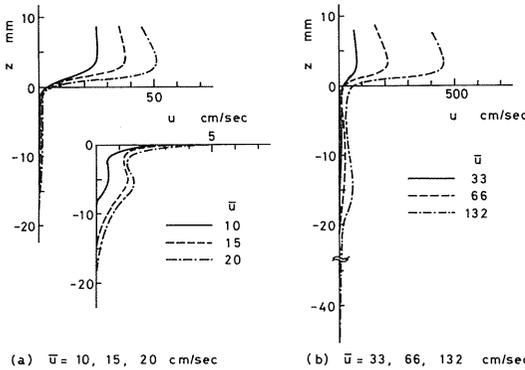


Fig. 6 Velocity Profile in Model I-A.

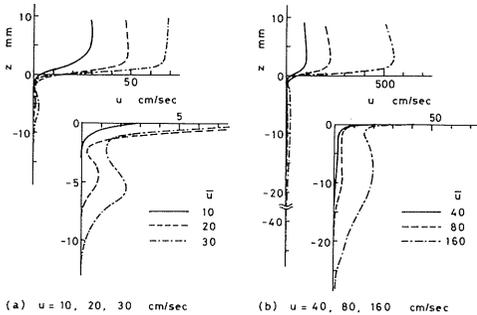


Fig. 7 Velocity Profile in Model I-B.

およびFig.7に示してある。流速は中心線(Ⓢ)上の値でありチューブの上端面を基準と取りチューブ下方を負とした。ここで $\bar{u}$ は平均流速であり、断面積としては拡散チューブのない部分の面積である。また後にRe数を求めるために使用する流速としては管中心の流速を用いることとし、この平均流速の2倍の値とした。これは、拡散チューブ内の乱れはその上端(本流の中心)付近のガスの流速に関するものと考えたことおよび拡散チューブ

の形、大きさともほぼ似ているからである。 $\bar{u}=10$  cm/sec のときには流速(u)は基準面(上端)以下チューブ内で単調に急速に減少している。 $\bar{u}=15$  cm/sec または 20 cm/sec 上では一度減少した速度が約5 mm 下方で増加している。またFig. 6 およびFig. 7 には明示されていないがZが負の所(拡散チューブ内部)で速度が単調に減少しているときには速度に振動は見られない。すなわち

$$u'' = u_0'' + \Delta u'' \quad (4)$$

において $\Delta u''=0$ となる。このときにも $Z > 0$ の所ではわずかな振動が見られる。これに対し $Z < 0$ で一度速度が増加し極大値のあるときには、 $Z = -1 \sim -3$  (mm)での振動は弱い極大値付近ではかなり振巾が大きくなる。また、ガス流速の非常に大きいときには拡散チューブ内での速度は全体として大きく、また非常に下方まで流れがあり振動も認められた。したがって速度が単調に減少するような流速範囲で拡散係数の測定を行なうときには $\Delta Z_e$ の値は比較的小さくなる。ガス流速の大きいときには上端付近での乱れ(渦)のみならず振動による影響もありFig.1(b)のような簡単な $\Delta Z_e$ の補正のみを行うことには疑問がある。また、振動の影響はLeeらのようにブローを用いてガスを流している実験では常に問題になるところである。

水路による実験結果はFig.8およびFig.9に示してある。流れの様子も良くわかり、渦の形もはっきり現われている。渦が出来ない場合、1つ出来る場合、2つ出来る場合が観察された。ガスの場合には認められなかったが水路の実験では同じ流速でも渦が出来たり消えたりし不安定なときがあり、定常になるまでの時間も長かった。タイプII-Aによる結果はFig. 8 (a) および (b) であり、(a)の場合はまだはっきりした渦は見られないが(b)の場合には一つのはっきりした渦と共に二つめの渦も現われている。狭い水路の方はFig. 9 であり、渦は一つある。またこの写真より拡散チューブ上端付近の流れの様子、また本流における流れの様子などはっきりわかる。Fig. 8 およびFig. 9 より、もし拡散チューブ内に渦の出来るときにはおよそその直径と同じ大きさの渦でありFig. 1(b)に示すような形のものではない。これはFig. 6 およびFig. 7 で極大値が5~8 mm ではっきりした形で現われることも一致する。

Leeらの報告<sup>1)</sup>では拡散チューブの直径17.5 mmのとき $\Delta Z_e = 0 \sim 13$  mm になったと言っている。しかし、本研究での測定結果によるとガス流量が一定のときには拡

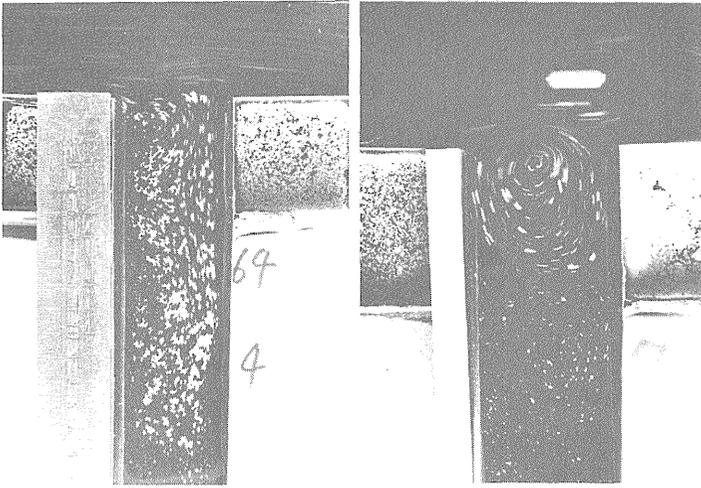
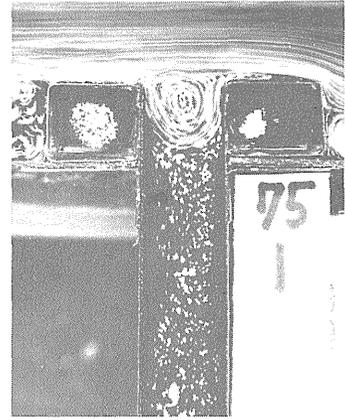


Fig. 8 Velocity Profiles in Model II - A

Fig. 9 Velocity Profile in Model II - B,  $u' = 6.50 \text{ cm/sec}$ 

散チューブ内の乱れもほぼ同様のものであり、もし渦が出来るとすれば拡散チューブと同程度の大きさの渦となるはずである。また渦と共に考えられる脈動の影響も彼等は $\Delta Z_0$ として一括して考えている。しかし、ブロワーによる脈動は拡散チューブ全体にわたって生じ、上端部で生ずる渦の効果と同一視することには問題がある。

Fig. 6よりFig. 9までの結果をまとめるために拡散チューブ径基準の $Re$ を導入した。流速としてはガスの場合には平均流速の2倍を、また水の場合には拡散チューブ相当部の本流の速さ( $u'$ )を写真より読みとって採用した。その結果渦の出来始める時の $Re$ としてガスの場合約300水の場合約600となる。これらの値の差異は一方は管の中の流れでありまた他方は水路で表面の流れを対象としていることおよび採用した流速のとりかたによるものであろう。拡散セルに適用する場合にはガスの場合の $Re = 300$ を用いるのが妥当である。著者の拡散係数測定の実験<sup>3),5)</sup>ではFig. 1(a)に示すセルを用いガス流量 $250 \text{ ml/min}$ であった。空気の場合について計算すると $Re = 45$ となり渦の出来る場合に比し十分小さな $Re$ 数である。また、上端の基準面から流速が0となる点までの距離と拡散チューブ内径との比を計算すると、 $Re = 45$ のときには $0.1$ となる。これは $1.0 \text{ mm}$ の拡散チューブ径のときには $0.1 \text{ mm}$ の値である。拡散路長さ $Z_0 \doteq Z_0 = 50 (\text{mm})$ ,  $\Delta Z_0 = 0.1 (\text{mm})$ の場合について(3)式を用いて計算すると

$$\frac{D'_{AB}}{D_{AB}} = 0.998$$

となる。ここで $\Delta Z_0 = 0.1 \text{ mm}$ は最大値ともいうべき値であり、実際にはこの $0.1 \text{ mm}$ の何%かの長さに対応することになるはずである。

## 結 論

拡散チューブ内の渦の生成について空気および水を用いてモデル実験を行なった。渦の大きさは拡散チューブ径とほぼ同じ大きさのものであり、2個出来るときには中心線上に並ぶことがわかった。著者の使用した拡散セルおよびガス流量<sup>3),5)</sup>においては、流れによる影響は上端より $0.1 \text{ mm}$ 以内であり、これによる誤差は $0.2\%$ 以下となり無視しうることがわかった。

終りにあたり、48年度の卒業研究で熱心に実験を進められた柄沢一夫君に感謝の意を表します。

## Literature cited

- 1) Lee, C. Y. and Wilke, C. R., *Ind. Eng. Chem.*, 46, 2381 (1964)
- 2) Lugg, G. A., *Anal. Chem.*, 40, 1072 (1968)
- 3) Nagasaka, M., *J. Chem. Eng. Data*, 18, 388 (1973)
- 4) Sherwood, T.K. and Pigford, R.L., *Absorption and Extraction*, p. 17, 2nd ed. McGraw-Hill, N.Y. (1952)
- 5) Nagasaka, M. and Hirai, H., *Journal of the Faculty of Engineering Ibaraki University*, 21, 200 (1973)