

亜硫酸ガス除去に関する実験的研究（第1報）

小林 昌 弘
鈴木 良 延
飯塚 芳 雄
宮路 栄 二

§ 1. はじめに

最近の産業経済活動の活発化に伴い、一方では人間の生活環境は悪化の一途をたどっている。とくに都市の大気は自動車排出ガス、工場等からの汚染排出ガスの影響で非常に汚れている。このため建築物の空調設備に大気を直接導入することは適正でなくなって来ている。

筆者らは大気汚染の現状を都市の大気、郊外の大気、建物内の空気に分類し調査した。この結果に基づき建物内の空気を郊外の清浄な空気に近づけるために、まず汚染の主因の一つである亜硫酸ガスについて除去実験を行なった。

§ 2. 都市近郊保養地においての大気

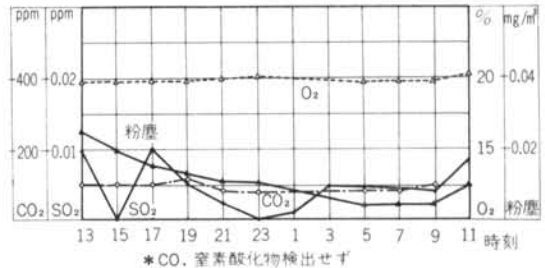
新鮮な空気とはどのようなものであるか知るため、保養地数ヶ所を選び測定した。

測定時間は2時間毎に行ない、亜硫酸ガスは10分間平均濃度を測定した。使用機器はデジタル粉塵計、亜硫酸ガス自動記録計、酸素測定器、各種検知管、アースマン通風乾湿計を用いた。図一1、図一2に測定結果を示す。

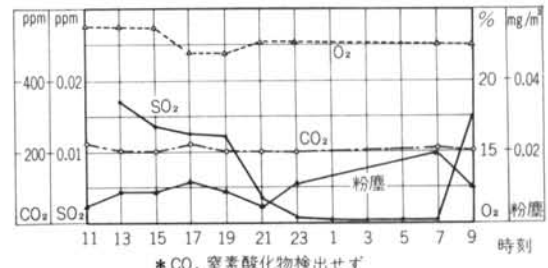
これによれば、亜硫酸ガス、粉塵などが極めて微量であり、一酸化炭素、窒素酸化物は検出されず非常に新鮮な大気といえる。

§ 3. 新宿副都心においての大気

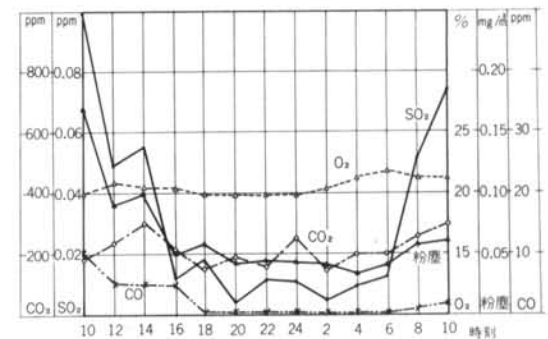
測定は年間で汚染の激しい12月、2月に行なったが、とくに12月は午前中の亜硫酸ガス濃度が高い。これは、当日スモッグがありその影響である。空調設備ではこのような大気は除去して導入することが望ましい。



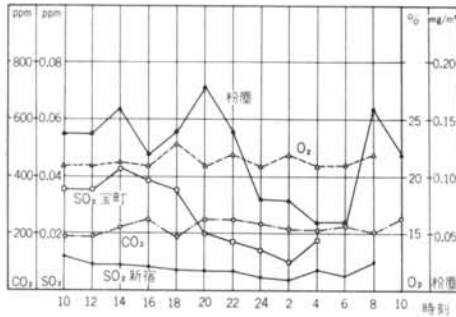
図一1 山中湖附近 大気測定結果
(測定日 昭和45.11.10~11)



図一2 伊豆高原附近 大気測定結果
(測定日 昭和45.11.12~13)



図一3 新宿副都心 測定結果
(測定日 昭和45.12.18~19)



図一四 新宿副都心 測定結果
(測定日 昭和46.2.18~19)

§ 4. 事務所ビル室内空気

ある事務所ビルについて室内空気の汚染状況を測定した。これによれば、粉塵による汚染が激しく「建物における衛生環境の確保に関する法律」の基準値をこえているときもある。原因としては、在室人員が多く喫煙量が多いためと思われる。また、亜硫酸ガス、一酸化炭素も比較的高い。このため空調設備のレターン側にも除去装置が必要とされる。

§ 5. 汚染ガス除去実験

汚染ガスの除去方法は種々あるが、空調設備では対象となる処理風量が非常に多いので、まず大風量の処理に適した送風機動力負荷が小さく、既存の空調設備に容易に追加することが可能である水噴霧型のエアワッシャ型を使用し実験を行なった。

5.1 実験装置概要

装置は実際の空調設備に使用されているものと同程度のエアワッシャを製作した。断面積は1m×1mとし、物質伝達率が大きくなる構造とした¹⁾。図一七に概略図を示す。

測定使用計器類は、

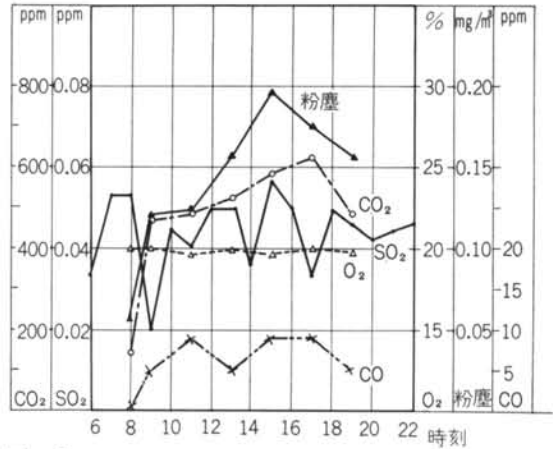
亜硫酸ガス濃度：導電率法による自動記録計
(柴田化学)

風 量：ピトー管、およびペッツ微圧計

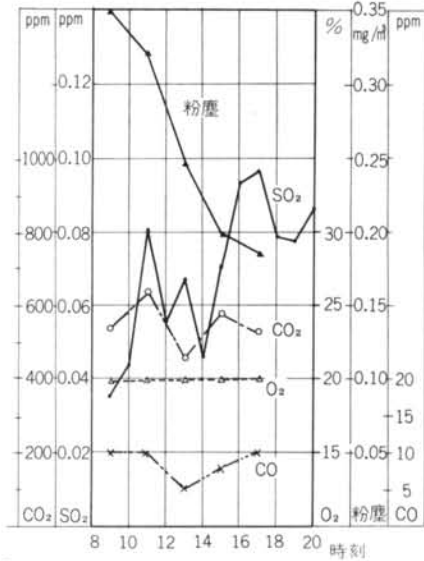
水 量：テーパー型流量計

温 度、湿 度：サーモカップル、打点式自動平衡記録計(横河)

pH 値：pHメーター



図一五 事務所ビル内空気状態(例1)



図一六 事務所ビル内空気状態(例2)

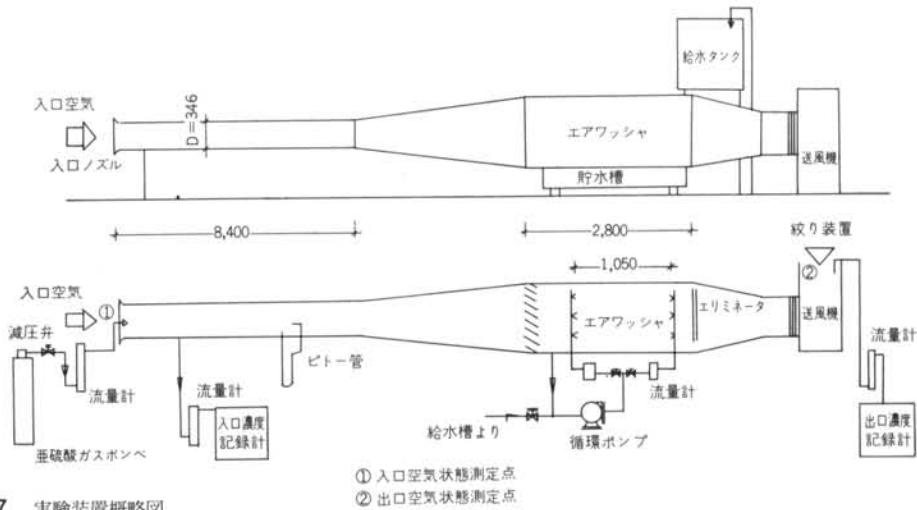
5.2 実験結果

実験は大気中の亜硫酸ガス濃度と同程度の0.1ppmを入口濃度として行ない、出口濃度を測定し次式により除去効率を求めた。

$$\text{除去効率 } \eta (\%) = 100 \times \frac{C_1 - C_2}{C_1} \quad \dots (1)$$

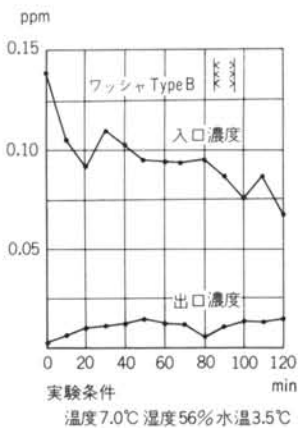
C_1 ：入口濃度 ppm, C_2 ：出口濃度 ppm

有害ガス除去性能試験法(案)²⁾によれば、初期ガス除去率はガス通気後30分の測定で効率を求めることになっているが、本実験では120分、180分を使用した。図一八に例示するように、入口濃度を0.1ppm一定に保つことは非常に困難なため、相加平均入口濃度 \bar{C}_1 を用いて除

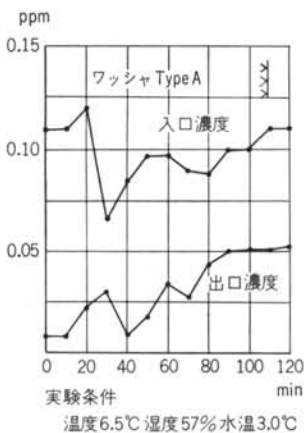


図一七 実験装置概略図

去効率を求めた。

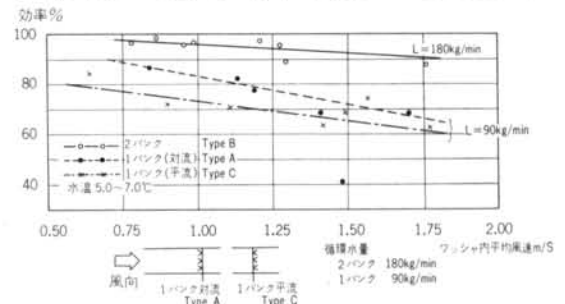


図一八 入口、出口濃度比変化(例1 実験番号710310)

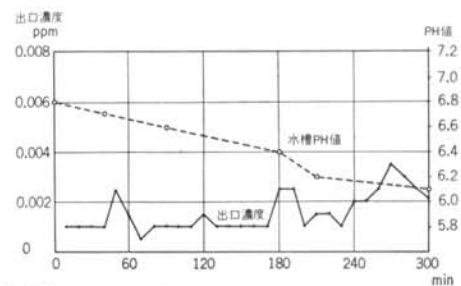


図一九 入口、出口濃度比変化(例2 実験番号710312)

図一十に実験除去率—風速関係の結果を示すが、ワッシャ内平均風速が 1.25m/s 以下であれば除去率90%以上が得られた。従来のワッシャ設計は温湿度調整の目的のため、風速2.5~3.0m/sで設計し必要風量よりワッシャ断面積を求めているが、有害ガス除去用として使用するなら、風速は1.5m/s 以下が望ましい。以上の実験結果より大気汚染程度の微量ガス除去については水噴霧式エアワッシャで十分効果があることがわかった。また、pH 値の減少は通気後5時間でも約 pH6.0と減少量が少



図一十 平均風速による除去効率の変化



図一十一 出口ガス濃度および水槽 pH 値の変化

ない。

§ 6. 理論上での考察

6.1 循環水温が除去率におよぼす影響

亜硫酸ガス溶解度と水温の関係は、水温が高いほど溶解度は低く、図-12のようになる³⁾。本実験での亜硫酸ガス分圧は0.1ppm(1×10^{-7} ata)程度であり、このような微量分圧に対しての溶解度は求まっていないため、図-12の溶解度が微量分圧に対しても適用できるとして考察する。

6.2 除去効率

エアワッシャにおいても冷却塔と同様に二重境膜説⁴⁾を適用し、物質伝達率を求めれば次のようになる。

$$Ka = \frac{\alpha G}{AL} \int_2^1 \frac{1}{y-y^*} dy = \frac{\alpha G}{V} \int_2^1 \frac{1}{y-y^*} dy \quad \dots(2)$$

ここで、 Ka : 物質伝達率 Kcal/m²·hr
 A : ワッシャ断面積 m²
 l : ワッシャ長さ m
 V : ワッシャ容積 m³
 α : 亜硫酸ガス比重量 kg/m³
 G : 風量 kg/hr
 y : 空気中の亜硫酸ガス濃度 ppm
 y^* : 平衡状態で水に溶解する限度を示すppm
 サフィックス 1 : ガス出口側 (水入口側)
 2 : ガス入口側 (水出口側)

(2)式を積分すれば、

$$\frac{KaV}{\alpha G} = \frac{y_2 - y_1}{(y_2 - y_2^*) - (y_1 - y_1^*)} \ln \left(\frac{y_1 - y_1^*}{y_2 - y_2^*} \right) \quad \dots(3)$$

空気中の亜硫酸ガス濃度が非常に微量であるため、空気中の亜硫酸ガス平衡点は亜硫酸ガス水溶液濃度に比例すると仮定すれば⁵⁾、

$$y^* = \beta x \quad \dots(4)$$

x : 水中の亜硫酸ガス濃度 ppm

β : 溶解度係数 = $\frac{\text{SO}_2 \text{ ガスの濃度}}{\text{水中の SO}_2 \text{ ガスの濃度}}$

ワッシャ内全体の物質収支を考えると、

$$\alpha G(y_2 - y_1) = L(x_1 - x_2) \quad \dots(5)$$

L : 循環水量 kg/hr

(3), (4), (5)式より

$$x_2 = \frac{\alpha G \left[1 - \exp \left\{ \frac{KaV}{\alpha G} \left(1 - \alpha \beta \frac{G}{L} \right) \right\} \right]}{L - \alpha \beta G \exp \left\{ \frac{KaV}{\alpha G} \left(1 - \alpha \beta \frac{G}{L} \right) \right\}} y_2$$

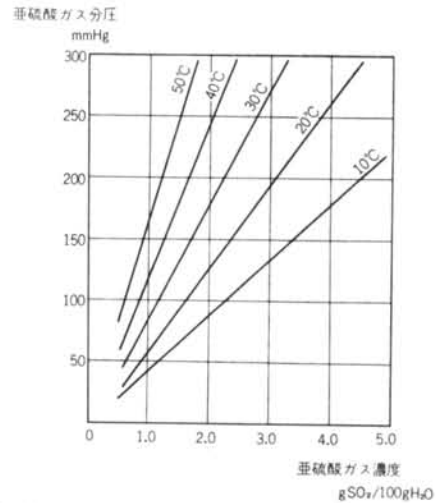


図-12 水温変化による亜硫酸ガスの吸収量

$$+ \frac{L - \alpha \beta G}{L - \alpha \beta G \exp \left\{ \frac{KaV}{\alpha G} \left(1 - \alpha \beta \frac{G}{L} \right) \right\}} x_1 \quad \dots(6)$$

循環水を排水せず再使用する場合、物質収支式より、

$$Q dx_1 = L(x_2 - x_1) dt \quad \dots(7)$$

Q : 水槽の容量 kg

(7)式において初期条件 $t = 0$ で $x_1 = 0$ を代入して解けば

$$x_1 = \frac{\varepsilon_2}{1 - \varepsilon_1} y_2 \left\{ 1 - e^{-\frac{L}{Q} (1 - \varepsilon_1) t} \right\} \quad \dots(8)$$

ここで、

$$\varepsilon_1 = \frac{L - \alpha \beta G}{L - \alpha \beta G \exp \left\{ \frac{KaV}{\alpha G} \left(1 - \alpha \beta \frac{G}{L} \right) \right\}} \quad \dots(9)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\alpha G \left[1 - \exp \left\{ \frac{KaV}{\alpha G} \left(1 - \alpha \beta \frac{G}{L} \right) \right\} \right]}{L - \alpha \beta G \exp \left\{ \frac{KaV}{\alpha G} \left(1 - \alpha \beta \frac{G}{L} \right) \right\}} \quad \dots(10)$$

(5), (6), (8)式より除去効率 η を求めると、

$$\eta = \frac{L}{\alpha G} \varepsilon_2 \exp \left\{ -\frac{L}{Q} (1 - \varepsilon_1) t \right\} \times 100 \quad \dots(11)$$

(11)式は時間変化による除去効率であるが、ガス通気後 T 時間までの平均除去効率 $\bar{\eta}$ は、

$$\bar{\eta} = \left[1 - \frac{\varepsilon_2 Q}{\alpha G (1 - \varepsilon_1)} \exp \left\{ -\frac{L}{G} (1 - \varepsilon_1) T \right\} \right] \times 100$$

となる。

6.3 溶解度係数

図-12の溶解度曲線が微量分圧においても使用できるとすれば、溶解度係数は図-13のようになる。

$$\text{したがって、} \beta = 0.066 \exp(0.032 \theta) \quad \dots(13)$$

θ : 水温 °C

溶解度係数

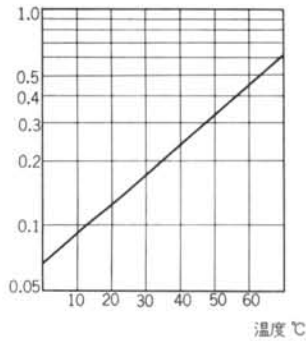


図-13 水温—溶解度係数

6.4 物質伝達率

ワッシャ内において冷却塔と同様に、次の式が成り立つ⁶⁾。

$$Gdi = Ka(iw - i)dV \quad \dots (4)$$

$$\text{したがって、} Ka = \frac{G}{V} U \quad \dots (5)$$

$$\text{ここで、} U = \int \frac{1}{iw - i} di \quad \dots (6)$$

iw : 水側エンタルピ° Kcal/kg

i : 空気側エンタルピ° Kcal/kg

(6)式に実験結果を代入し、数値積分をすれば Ka が求まる。図-14に結果を示す。

図-14より水空気比 G/L と Ka の関係式は、

$$Ka = 360 \exp\left(2.5 \frac{G}{L}\right) \quad \dots (7)$$

6.5 計算結果および図表

6.5.1 水空気比の変化による除去効率

G/L により除去率は変化する。図-15に計算結果を

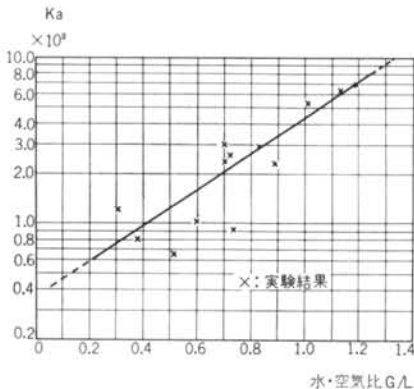


図-14 水・空気比—物質伝達率

示すが、 G/L が小さいほど除去効率の時間変化による減少が少ない。しかし、除去効率はよくない。また、 G/L が 1.0 以上であっても除去率の上昇はあまりないため、以下の計算は $G/L=1.0$ とした。

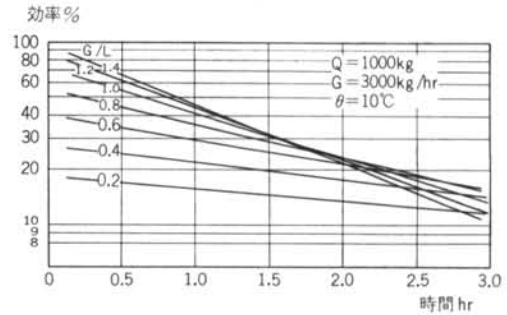


図-15 G/L による除去効率の変化

6.5.2 水温の変化による除去効率

水温により溶解度係数は変化する。文献4)によれば $\beta = 0.3$ で計算してあるが、これは筆者の計算では $\theta = 10^\circ\text{C}$ に相当する。図-16に結果を示すが、これによれば水温 $\theta = 10^\circ\text{C}$ 以下にすることが望ましい。

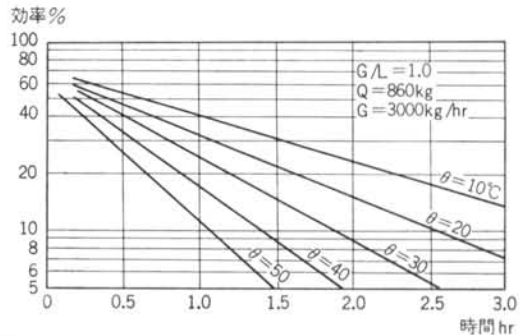


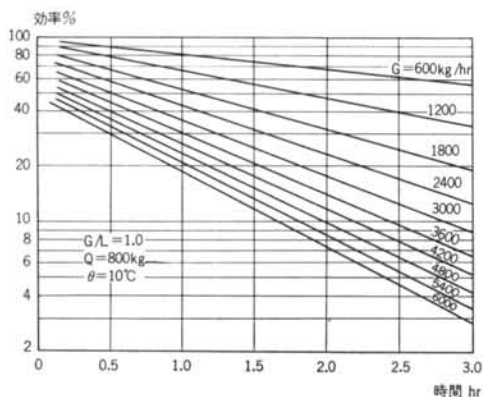
図-16 水温—除去効率の変化

6.5.3 水槽容量変化による除去効率

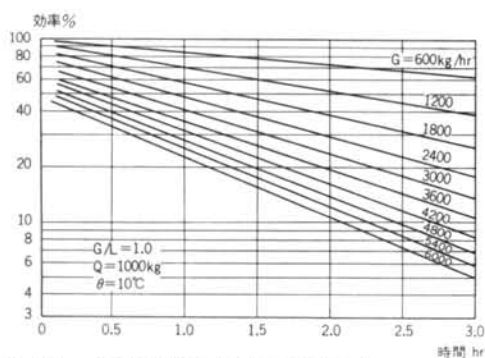
水槽容量が増加すれば除去効率が上昇する。その結果を図-17、図-20に示す。水槽容量は、設備スペースより考慮して $1.0 \sim 2.0 \text{ m}^3$ が適当と思われる。実験で使用した水槽容量は 0.86 m^3 であり、この値と水温 $\theta = 10^\circ\text{C}$ を各々に代入して、ガス通気後 2 時間での除去効率を求めれば図-21のようになる。

§ 7. むすび

大気汚染の測定結果によれば、都市の大気は汚染が激しく、都市の建物は空調設備に除去装置を取り付ける必要がある。除去実験の結果より、従来から使用されてい



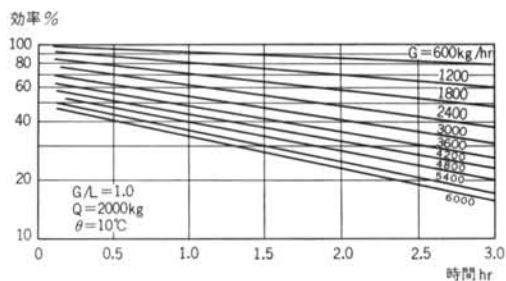
図一17 水槽容量変化による除去効率の変化



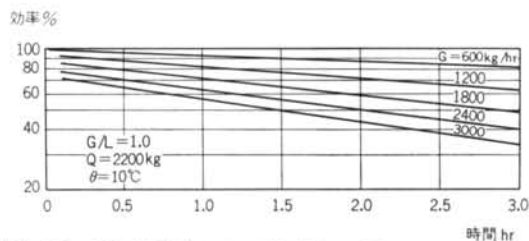
図一18 水槽容量変化による除去効率の変化

るエアワッシャで十分除去効率があることがわかった。これは、大風量の空気を処理するのに送風機の静圧損失を大きくすることがないため、大きな利点といえる。

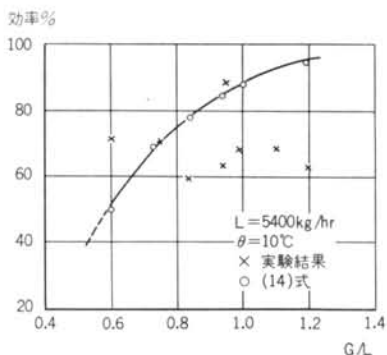
理論考察では、溶解度係数の決め方に仮定があり、実験結果と一致しない部分があり、今後の研究が必要である。また、入口空気温度、水温の変化による除去効率については次回報告する。



図一19 水槽容量変化による除去効率の変化



図一20 水槽容量変化による除去効率の変化



図一21 理論式と実験結果との比較

<参考文献>

- 1) 井上市市：“エアワッシャ内の熱伝達率（I）” 衛生工業協会誌 第29巻，11号 pp. 5～13
- 2) 寺部本次他：“換気用空気清浄器（有害ガス用）の性能試験法（案）” 空気清浄 第8巻，6号 pp. 57～66
- 3) 日本化学会編：“相平衡（化学便覧基礎編II）” 丸善（昭41）pp. 599
- 4) 亀井三郎編：“化学機械の理論と計算” 産業図書（昭46）pp. 170～174
- 5) 新津靖：“亜硫酸ガスの除去に関する研究（充てん塔によるSO₂ガスの洗浄）” 空気調和・衛生工学 第41巻，3号 pp. 1～8
- 6) 内田秀雄：“湿り空気と冷却塔” 装華房（昭40）pp. 89～96