

室内空間における排気ガス換気問題のシミュレーション

－二酸化窒素（NO₂）濃度測定による検討－

日大生産工(院) ○張 磊 日大生産工 若林 敬造
日大生産工 豊谷 純

1 研究背景と目的

世界は、急速な工業発展に伴い、大気汚染をはじめとする公害問題が発生するようになった。こうした問題に対処するために、大気汚染の現状と対策に対する理解を深め、できることから取込んでいく必要がある。

そのために、今回は室内空間で排気ガス濃度を測定し、排気扇、扇風機、またエアコンの設置方法により、CO₂ 排出や消費エネルギーの削減を実現する事を目的とする。

2 実験の測定原理

本研究は、吸光光度法を利用して、NO₂濃度測定を行った。吸収液（ザルツマン試薬、図1左）を用いて、試料気体を一定時間通気してNO₂を吸収させ、吸収液の色を変化した後、二酸化窒素濃度測定器を利用して吸光度を測定し（図1右）、NO₂濃度を連続的に測定する方法である。

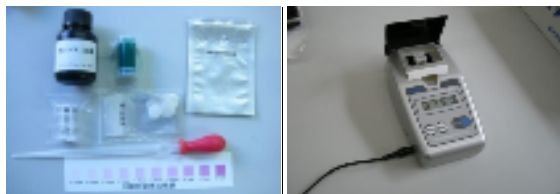


図1 実験道具

3 実験の道具と実験方法

3.1 実験道具

実験に必要な機器や薬品などを表1に示す。

表1 実験道具とその用途

内容	用途
二酸化窒素捕集管	気体を集める容器、ろ紙押え、蓋がある。(図2右)
試薬付ろ紙	気体を吸着させるろ紙(図2左)
ザルツマン試薬	ろ紙が付着した気体を溶かし、発色させる試薬
駒込ピペット	ザルツマン試薬を注入用
比色セル	液の色を見るための容器
二酸化窒素測定器（ニッター NAT2001-A）	比色セルを測定口に入れ、比色計デジタル式で濃度を測定する。(図1右)
ピンセット	ろ紙をはさむ時などに使う
取付用遮光袋	取付けた後に遮光用
重曹（炭酸水素ナトリウム）	測定終了後の廃液を中和する

The Simulation for Ventilation Problem of Exhaust Gas at Interior Space
－ The Analysis by Measurement of Density of Nitrogen Dioxide －

Lei ZHANG, Keizou WAKABAYASI, Jun TOYOTANI



図 2 捕集管と試薬付ろ紙

3. 2 実験方法

- ① 集管セットを事前に準備し、位置を示す番号（図 3）も各セットに貼り付ける。

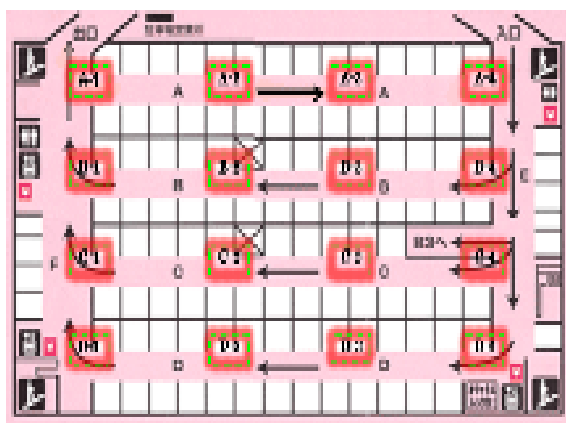


図 3 測定位置（180m×90m）

- ② 床から（2.8m）の天井付近と足元付近に捕集管セットを分けて取付ける（図 4）。

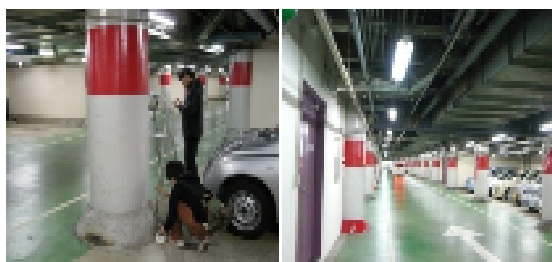


図 4 現場測定の様子

- ③ 捕集管を配置して 24 時間後に、蓋を閉めて回収する。
- ④ ろ紙で捕集した二酸化窒素をザルツマン溶液と反応し、比色セルに入れ、二酸化窒素

測定器で濃度測定を行って、データをまとめる。

4 NO₂濃度分布の分析

濃度測定と同時に各位置に対する濃度データを、表 2 のように各位置により区別に整理する。

表 2 データの一例（B 2 一回目天井）

(ppm)

	1	2	3	4
A	0.15	0.051	0.3	0.165
B	0.208	0.256	0.242	0.228
C	0.241	0.231	0.2	0.461
D	0.454	0.1	0.156	0.765

各位置のデータにより、Excel で等高線作成をおこない、濃度分布を図 5 で表す。

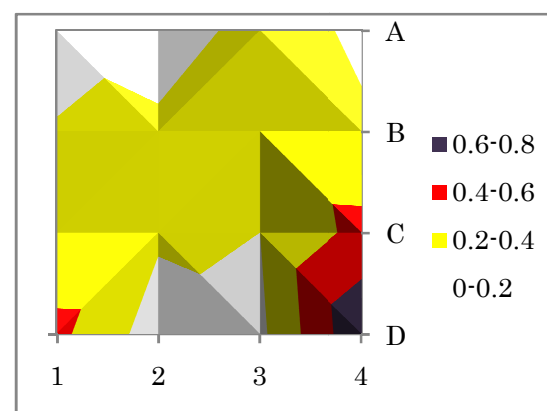


図 5 Excel による濃度分布の作成
（B 2 天井一回目）

5 AVSによる実験結果の可視化

5. 1 実験値の濃度分布作成

本研究では、実験及び数値シミュレーション結果の可視化に、AVS⁷⁾を利用して、Excel で作った等高線図を代入し、図 6 のような濃度分布図を作成する。

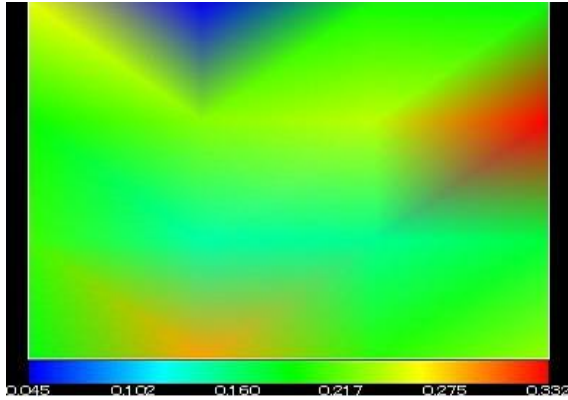


図 6 AVS で作成した濃度分布図

5. 2 数値シミュレーションの定式化

AVS によるシミュレーション用動画映像を作成するには、まず拡散方程式(1)の差分法を利用して、時間ごとに対する濃度変化データを計算する⁸⁾。

$$\frac{\partial q}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

式(1)では、 q は濃度 (ppm)、 t は時間 (s)、 k は分子拡散係数 [m^2/s] を表している。

非圧縮性粘性流体の運動は連続の式、Navier Stokes 方程式にて、また排気ガスの流動は移流拡散方程式 (2)、(3)、(4)、(5) を用いて記述される式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = c \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

記号

t : 時間 (sec)

u : x 方向の速度 (m/s)

v : y 方向の速度 (m/s)

p : 圧力/密度

V : 動粘性係数 (m^2/sec)

q : 速度ベクトルの x 方向成分 (m/sec)

x : 座標 x 方向成分 (m)

y : 座標 y 方向成分 (m)

x 、 y 、 t は独立変数で、また初期値は $q=0$ に設定し、境界値は入口と出口の濃度を $q=0$ に設定する (図 7)。そして、式(1)を解くことにより、濃度を得る⁹⁾。

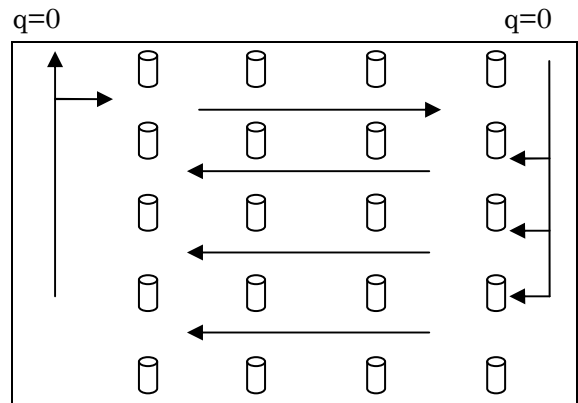


図 7 駐車場内車の通行方向

(横 180m×縦 90m；柱：器具取付位置)

5. 3 計算結果の動画作成

本研究では AVS 用のスクリプトというプログラムを作成して、5.2 で説明した計算式を利用し、自動的に計算して、各時間ごとの濃度データを、1 つずつ読み込んで、動画を作成する。

6 シミュレーションによる結果

6. 1 結果により換気設備配置の検討

濃度分布図の作成により、地下三階の濃度分布図を例として、図 8 に示したように、天井よりも足元付近の二酸化窒素濃度が高いことが明らかになった。また、送風口や下の階へ移動する車などによる気流の流動を加え、交通量の低い地下三階は、交通量の多い地下

二階よりも、濃度が高くなる傾向がある（午前中には地下二階など地上に近い階が、利用率が高いので、濃度は下の階より高いことが明らかになった）。

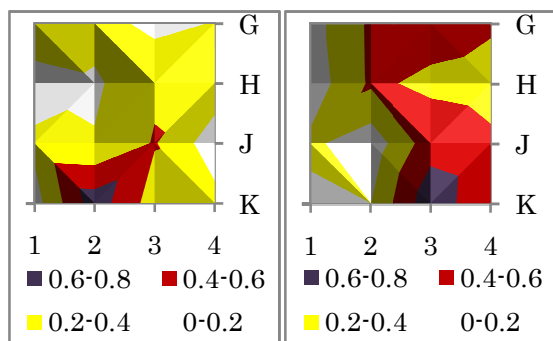


図8 上下濃度の比較（左：天井、右：足元）

この結果によって、排気ガスは、気体流動と伴って、一番下の階に流れ込む可能性が高くなると見られる、これによって上の階から扇風機やエアコンの排気口などにより、循環的な気流を作り、下の階で集中に吸気できるような設備配置をすれば、効率的に換気できると考えられる。

また、天井付近に排気口、足元付近に吸気口を設置すれば、効率的だと考える。つまり、家庭用エアコンと違って、伝統的な天井付近に取付ける方法を変わり、シミュレーション分析により、足元に排気ガス濃度が濃いエリアに対しては、足元付近に排気口を取付ければ、効率的に換気できるのではないかと考えられる。

6. 2 シミュレーションによる気流分析

今回のシミュレーションを行い、動画を作成することによって、気流の流動を分析することが可能であることが示された。また、その分析結果を利用して、排気ガスがよくたまるエリアを見直し、換気設備を上下に分けて、換気しやすい位置に、効率的な設置方法を検討し、エネルギーの消費を削減できたり、人間健康への影響を減少したり、環境貢献にも、

経済的にも役を立つたと考えられる。

7 まとめ

本研究では、地下駐車施設における排気ガス濃度の測定方法、とくに測定の一例として二酸化窒素濃度測定の方法（吸光光度法）を選び実際に実験を行い、実験手順、濃度測定方法また実験結果を報告した。また、そのデータに基づいてシミュレーションを行い、結果により排気ガスの流動を分析し、経済的な換気設備の設置する方法を検討した。

8 参考文献

- 1) 大気環境保全技術と装置事典編集委員会「大気環境保全技術と装置事典」, 産調出版, 2003 年 pp.6~78
- 2) 公害対策技術同友会,「環境待機常時監視マニュアル」, 環境庁大気保全局出版, 1980 年 pp.30~95
- 3) 環境保全対策研究会,「大気汚染対策基礎知識」 産業環境管理協会出版, 2001 年 pp.10~90
- 4) 環境機器活用事典編集委員会,「大気汚染防止の技術と機器」, 産調出版, 1988 年 pp.15~150
- 5) 「大気環境対策」、環境省ホームページ：<http://www.env.go.jp/air>
- 6) AVS スケーラブル可視化システム, ケイ・ジー・ティー社ホームページ：<http://www.kgt.co.jp/feature/avs-svs>
- 7) 「計算力学ハンドブック」 日本機械学会 pp. 33~37
- 8) 塚本 秀史,「コンピュータによる拡散方程式の演習」, 公害対策研究センター(有), (2004)
- 9) 渡辺、豊谷、唐澤、若林、配送センターにおける排気ガス拡散シミュレーション, 日本ロジスティックスシステム学会第 11 回全国大会予稿集, p81, 2008