

高活性炭素繊維 (ACF) を用いた自然風駆動の NO_x 除去装置の提案

豊橋技術科学大学 長野誠、(正) 北田敏廣、 福岡県保健環境研究所 下原孝章

1 はじめに

1.1 本研究の背景

大都市域における過密な交通量は、沿道の大気環境の悪化という大きな社会問題の原因となっている。その対策として、酸化チタンを使用した酸化除去や、土壌層を通過させ除去する方法が研究されている。

しかし、汚染空気と浄化媒体 (例えば TiO₂ を塗布したフェンスなど) 間の接触の効率が悪いこと、あるいは吸着層 (例えば土壌など) を通過させるために強制採気を行うために必要な設備の整備やその運用コストが問題であり、また、設備の運転にエネルギーを消費するという環境面においても望ましくない点がある。

1.2 本研究の目的

以上を踏まえて本研究は、装置の駆動にエネルギーを消費しない、かつ効率の高い大気汚染物質除去装置を提案するものである。

そこで着目したのは、汚染物質の除去に有効な素材として研究がされている ACF (高活性炭素繊維) である。本研究は ACF が高い浄化能力と繊維状であることを利用し、ACF を装着した通気性フェンスを考案した。即ち、自然の風の流れにより汚染空気を通気性フェンスの ACF 層を通過させることで、汚染空気を浄化するものである。これにより、エネルギーを使用せず、メンテナンスフリーでの長期使用ができる浄化装置が可能となる。今回の研究は、より実際に即した 3 次元空間でフェンスを設置した場合の流体力学的特性も考慮して、ACF フェンスの効果を数値シミュレーションにより検討したものである。

2 支配方程式

Continuity equation

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (K_{ij} U_j) = 0 \quad (1)$$

Momentum equation

$$K_{ij} U_k \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\gamma}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\nu_t K_{jk} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_k} + \frac{\partial U_k}{\partial x_i} \right) \right) + \frac{1}{\rho} B_i \quad (2)$$

Where B is drag by the porous media:

$$B_i = -\gamma R_c \cdot U_i$$

Advection-Diffusion equation

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho K_{ij} U_j C - \rho \Gamma_t K_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) = \gamma S \quad (3)$$

Equation for turbulent kinetic energy

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} U_j k - \frac{\nu_t}{\sigma_k} K_{ij} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = \gamma P_k - \gamma \varepsilon \quad (4)$$

Where P_k is the turbulence production due to wind shear.

Equation for dissipation of turbulent kinetic energy

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} U_j \varepsilon - \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} K_{ij} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) = \gamma C_1 \frac{\varepsilon}{k} P_k - \gamma C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

Eddy diffusivity

$$\Gamma_t \cong \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

parameters

$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, C_\mu = 0.09 \quad (7)$$

3 ACF フェンスのモデル化

ACF による環境大気中の窒素酸化物の除去実験は下原¹らによって行われた。この実験は、ACF を充填したガラス管に環境大気を通過させるもので、ACF 通過前後において NO_x の濃度および流量、圧力損失を計測している。

3.1 ACF による NO_x 除去反応

今回の研究では、ACF が 0.1g および 0.3g 充填された内径 8mm のガラス管に 300mL/min の流量で通過させた場合の実験結果を使用し、ACF の NO_x 除去反応を次式に示す一次反応と仮定し、速度定数を推定したことで、 C :濃度、 t :接触時間、 k :速度定数とし、接触時間 t 秒のときの入口濃度、出口濃度をそれぞれ、 C_{in} 、 C_{out} とする。

$$\frac{dC}{dt} = -kC, \quad C_{out} = C_{in} \exp(-kt) \quad (8)$$

実験結果から、 $k = 4 [s^{-1}]$ とした。

¹下原孝章 (福岡県保健環境研究所) 「高活性炭素繊維を用いた沿道ガス削減技術に関する調査報告書」, 2002

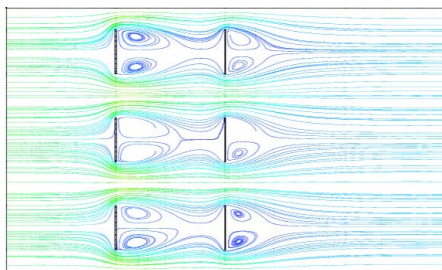
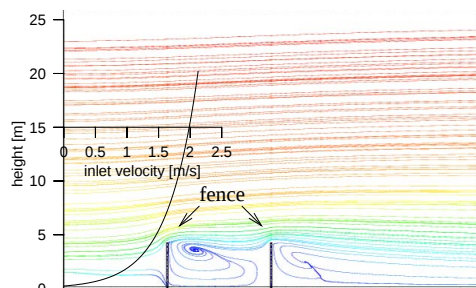


図 1: 計算領域と流れ場; 水平断面

図 2: 計算領域と流れ場; 鉛直断面
図の左側に風上境界条件を設定してある。

3.2 ACF 充填層による圧力損失

一般に多孔質媒体を流体が通過するときの抗力は次式 B で表される。ここで、 p_1 、 p_2 はそれぞれ流体が多抗質媒体を通過する際の流入するときの圧力、流出するときの圧力、 L : 流体が多抗質媒体を通過する距離、 V : 流体の速度 ($\frac{[流量]}{[断面]}$)、 μ : 流体の粘性係数、 ρ : 流体の密度、 α : 粘性抵抗係数、 β : 慣性抵抗係数である。

$$B = \frac{p_1 - p_2}{L} = \alpha\mu V + \beta\rho V^2 \quad (9)$$

実験結果から、圧力損失は流量の一次式に良く適合したため、式 (9) において速度の一次の項、即ち粘性項が支配的であると考えられるよって本研究では、ACF 層の流れに対する抗力を次のように決定した。

$$B = \frac{p_1 - p_2}{L} = R_c V, \quad R_c = \alpha\mu \quad (10)$$

実験結果から、 $R_c = 3700 [\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}]$ とした。

4 シミュレーション

本研究は、道路に沿って ACF を充填したフェンスを設置するという想定で行う。また、現在はまだ高価な ACF を一面に設置するのは経済的ではないため、間隙をおいてフェンスを設置した場合も想定した。このモデルを CFD ソフトの CFX5 を使用して計算した。(図 1,2)

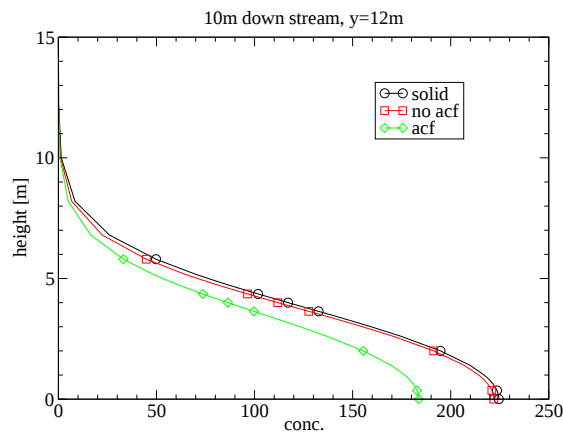


図 3: 風下側フェンスから 10m 下流の鉛直濃度分布

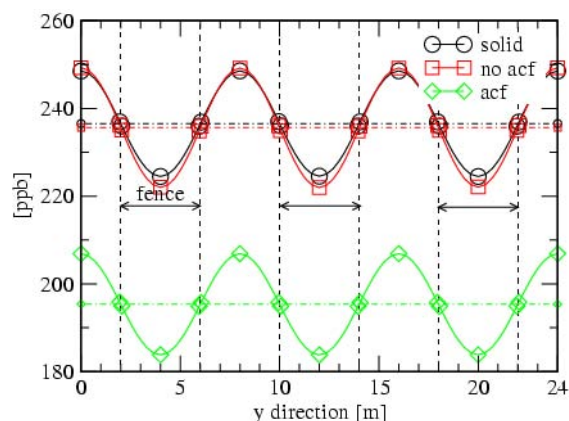


図 4: 風下側フェンスから 10m 下流の水平濃度分布; 地表レベル

5 シミュレーション結果

フロースルーではないフェンス:solid、ACF の反応を考慮しないフロースルーフェンス:noacf、ACF の反応を考慮したフロースルーフェンス:acf のそれぞれのケースで計算を行い、その流れ場と濃度場の様子を確認、比較した。間隙をおいて設置した場合、風下のフェンスから 10m 下流の地点において、ACF の反応を考慮しない場合と比較して、18%の濃度の減少が示された。(図 3,4)

6 結論

シミュレーションの結果、ACF フロースルーフェンスは、自然風により、沿道の環境濃度を 20%近く削減できる可能性が示された。エネルギーを消費しない、自然風により駆動する装置から得たこの結果は、ACF フェンスの有効性を示すと考える。