

# 平成 28 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：屋外環境

研究期間：平成 28 年度

課題番号：153007

研究課題名（和文）： 密度差のあるガス拡散性状予測手法検討

研究課題名（英文）：Examination of a method for predicting the diffusion of exhausted gases with buoyant force

研究代表者：佐々木 澄

交付決定額（当該年度）： 340,000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

## 1. 研究の目的

都市空間における大気汚染や臭気の問題に対して、従来のガス濃度予測では主に中立時かつ排出される汚染質は空気と同程度の密度と想定して検討されてきた。近年は BCP の観点から非常用電源を備える建物も増え、発電時に排出される高温ガスの影響範囲の検討や、都市部に作られるコジェネレーションシステムからの排熱の影響など、排出されるガス自体が空気よりも軽い条件での予測事例も必要となってきた。また、今後建設が推進されると考えられる水素ステーションについても、万が一の事故時におけるガス漏えいの問題への対策として、浮力性のガスである水素の拡散状況の予測が重要となる。

本研究は、市街地や建物周りにおける密度差の異なるガスの拡散性状を把握し、ガスの濃度予測手法の確立に向けた検討を行うことを目的とする。

## 2. 研究の方法

建物周りの流れ場を対象とした拡散場の性状について、排出ガスの浮力の有無による影響を比較・検討する。また、これらの結果を数値解析の検証用のデータとして整備する。風洞実験と並行して数値解析を用いた検討を実施し、それぞれの結果を比較することで数値解析の予測精度や適用限界等を検証する。

## 3. 研究成果

### ● 実施内容

数値解析の検証用のデータとして風洞実験データを蓄積・整備することを目的とし、東京工芸大学の温度成層を利用し、建物周りの流れ場を対象とした拡散場に関する風洞実験を実施した。本検討では、単体ブロックとストリートキャニオン周りの流れ場において、床面の点源から排出されたガスの拡散性状について、浮力の有無による違いの影響に着目した実験を行った。

### ● 実験概要

東京工芸大学の温度成層風洞（図 1 に略図）において、排出位置（床面）を固定し、2つの形状パターンで計測を行った。図 2 に排出口付近のレイアウト図及び各パターンにおける測定位置を示す。一つは単体ブロックを対象とし、排出口風上側に 1:1:2 のブロックを置いたケースで、もう一つはストリートキャニオンを想定したもので、排出口を挟むように風洞断面図全体にブロックを並べたものである。これら 2つの形状パターンに対し、浮力有、無の 2パターンのガスを排出し、その拡散形状を計測した（計 4 ケース）。

トレーサガスとしてエチレン ( $C_2H_6$ ) を使用し、浮力を考慮する場合にはヘリウム (He) を混合した。基準風速（各パターンにおける建物高さの風速、いずれも 1.0m/s）に対する排出速度比はすべてのケースで 1/3 とし、浮力を考慮する場合の想定した密度比は 0.91、フルード数は 5.23 となるようにエチレンとヘリウムガスの混合比を決定した。測定では FID 型炭化水素計で各点 2 分間計測した。

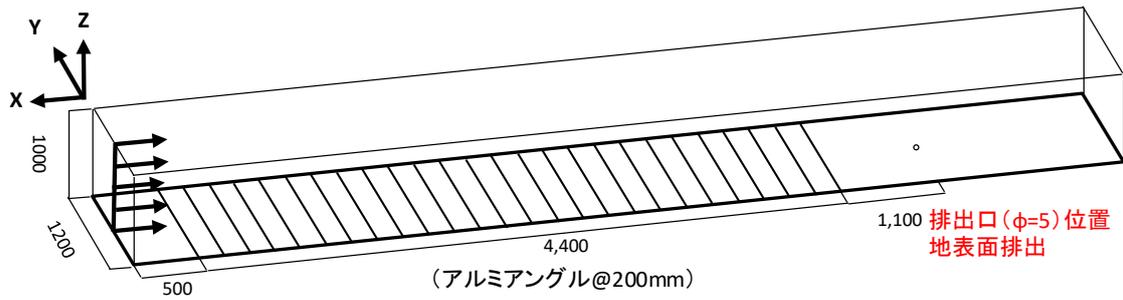


図1 東京工芸大学温度成層風洞の略図と排出口位置

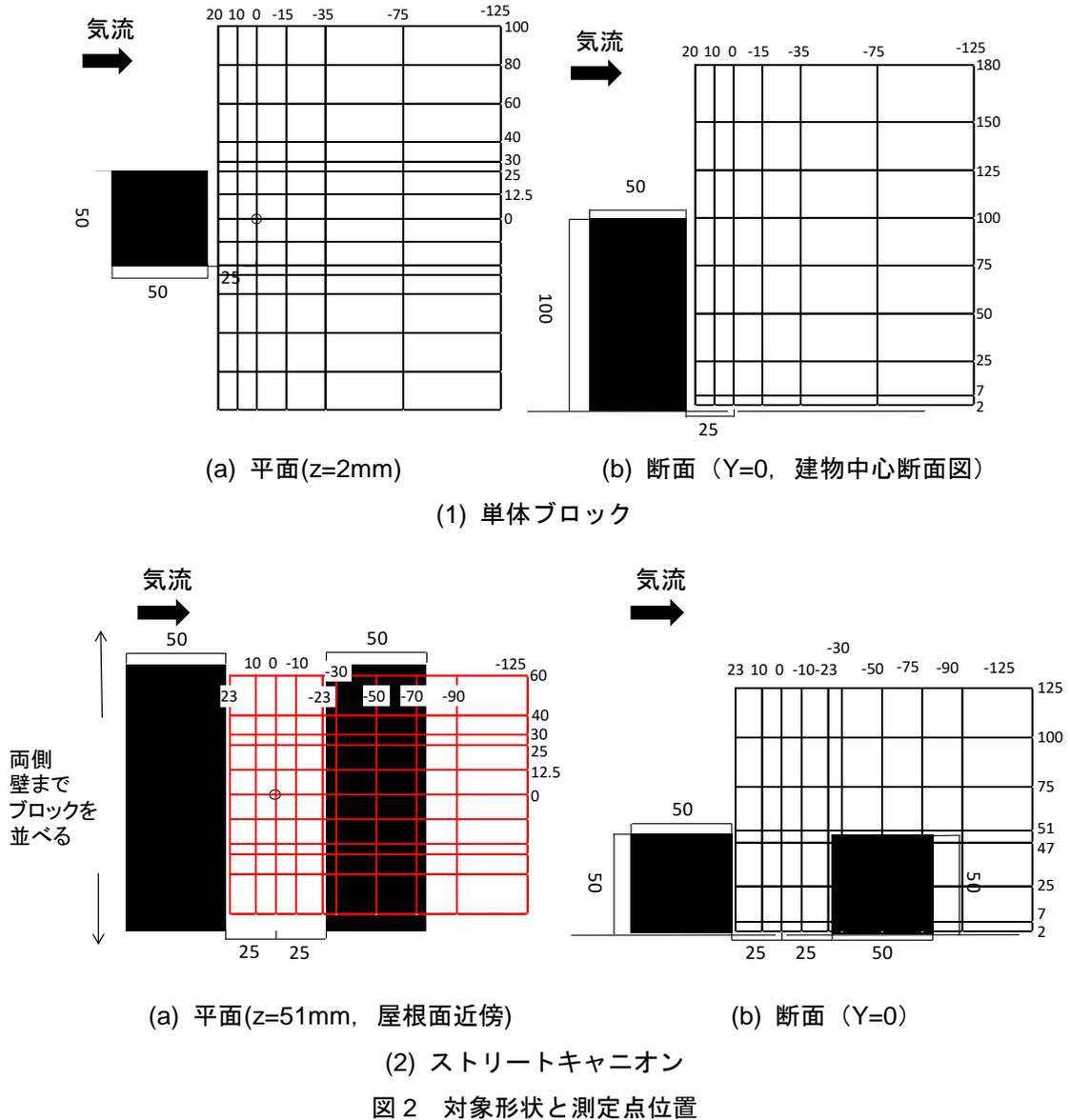


図2 対象形状と測定点位置

● 実験結果及び考察

実験結果として、2つの形状パターンにおける2種類の排出ガス（密度差（浮力）の有無）の平均濃度分布及び平均濃度、濃度変動の分散の鉛直分布を図3~6に示す。平均濃度は、模型高さH、軒高風速 $U_H$ とトレーサガス排出量 $Q$ を用いて求めた基準濃度 $\langle c_0 \rangle (= Q / U_H H^2)$ で無次元化した値を示す。また、濃度変動の分散については $\langle c_0 \rangle^2$ で無次元化した値を示す。

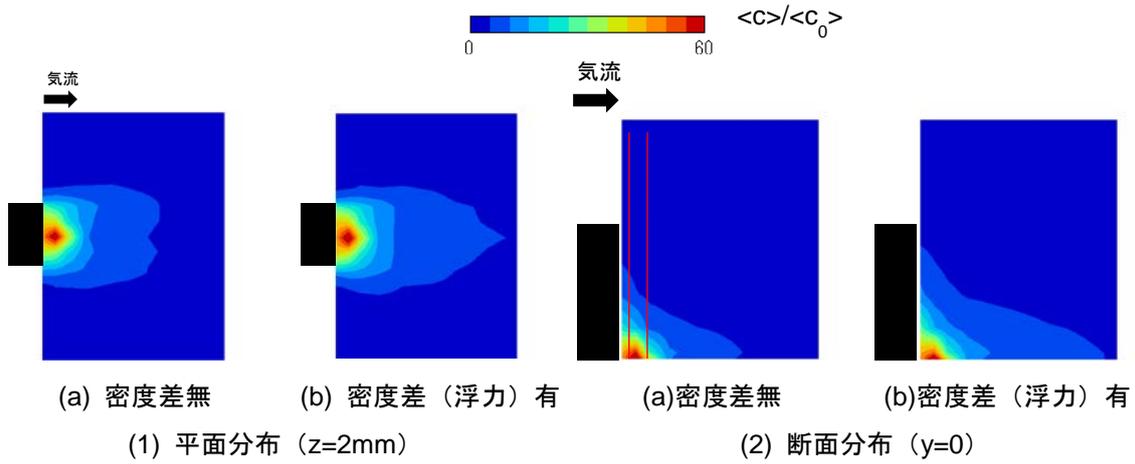
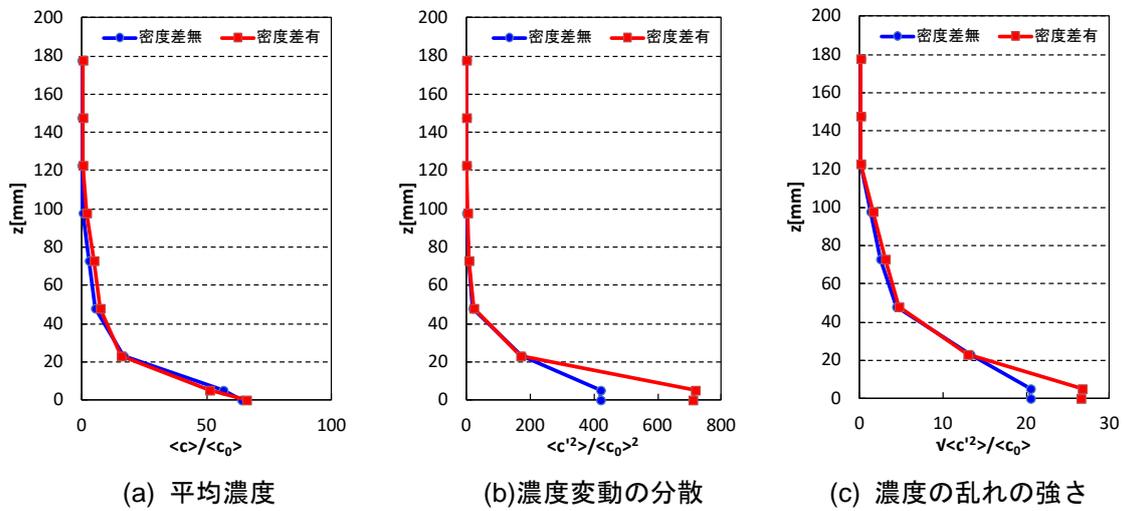
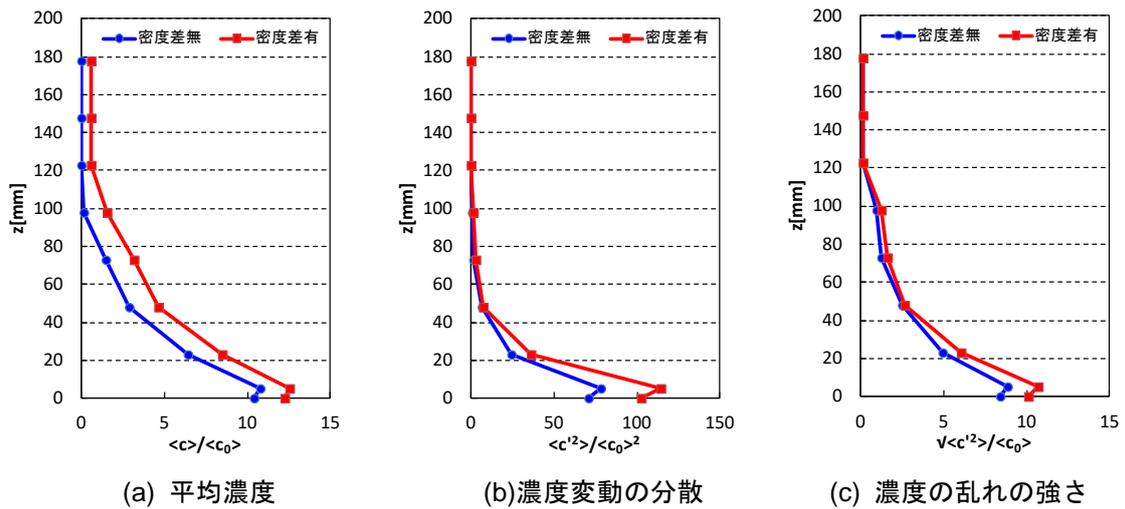


図3 平均濃度分布 ( $\langle c \rangle / \langle c_0 \rangle$ , 単体ブロック)



(1)  $x=10$  (排出口の風上側)



(2)  $x=-15$  (排出口の風下側)

図4 諸量の鉛直分布 (図3(2)中の赤ライン上)

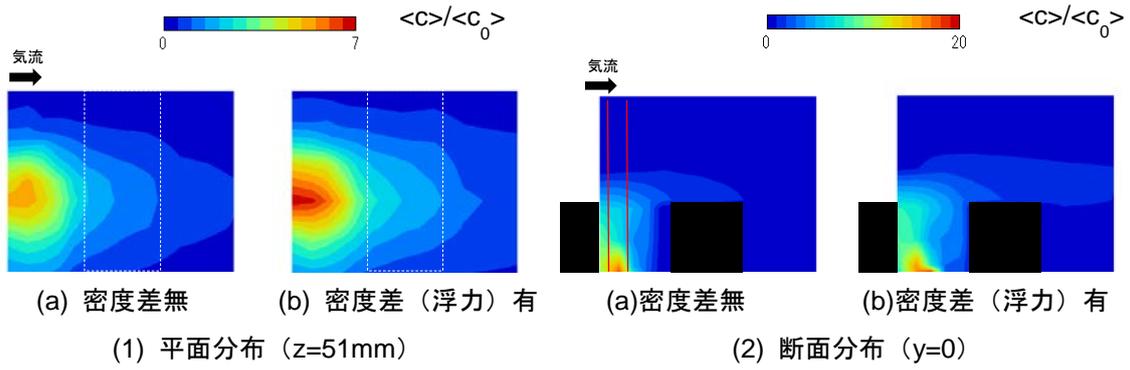
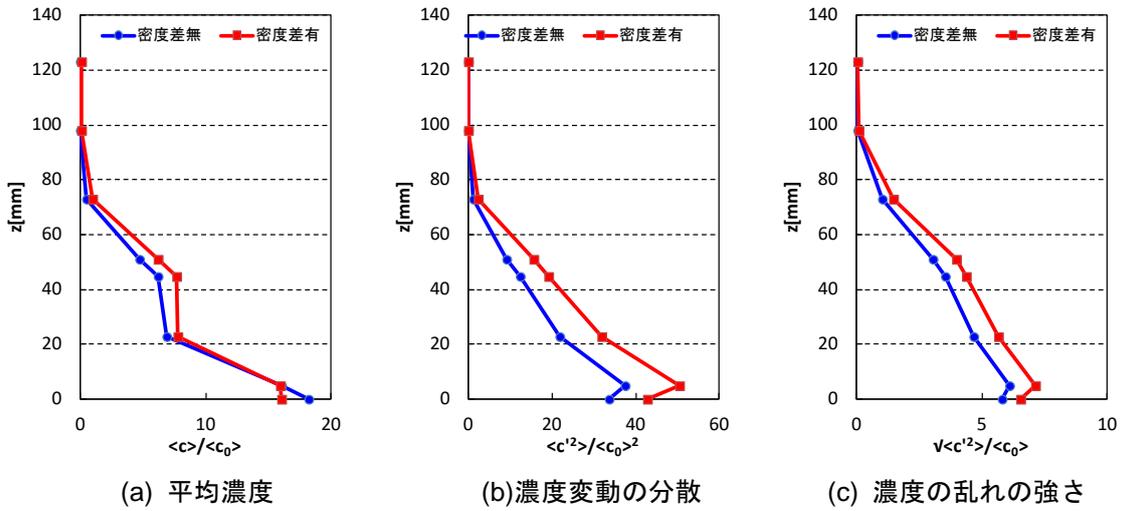
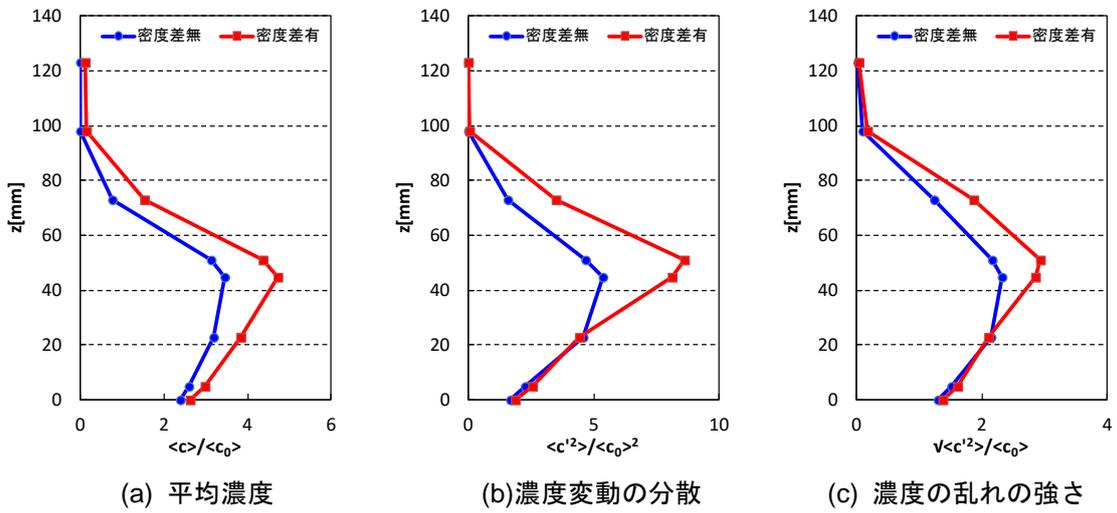


図5 平均濃度分布 ( $\langle c \rangle / \langle c_0 \rangle$ , ストリートキャニオン)



(1)  $x=10$  (排出口の風上側)

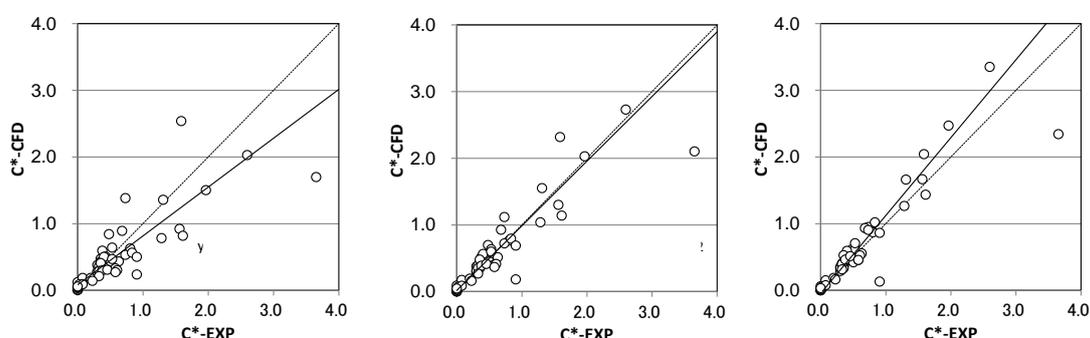


(2)  $x=-10$  (排出口の風下側)

図6 諸量の鉛直分布 (図5(2)中の赤ライン)

いずれの図を見ても分かる通り、密度差（浮力）有のガスの方が密度差無に比べて鉛直方向だけではなく、水平方向へも広がっていることが分かる。これは昨年度に実施した解析結果や既往の研究でも見られるように、浮力の効果によって乱れが増加したためである。設置した模型の形状から、単体ブロックの濃度分布（図 3）から水平方向の広がりが、ストリートキャニオンのパターンにおける濃度分布（図 4）から鉛直方向の広がりが顕著に見られる結果となった。両パターンの諸量の鉛直断面図分布を見ると、濃度・濃度変動の分散のピークの位置と平均濃度のピークの位置はほぼ一致していることが分かる。また、浮力の有無を比較すると、今回表示するラインにおいてはいずれのパターンにおいても浮力有の方が平均濃度、濃度変動の分散ともに大きくなっている。このようなことから、濃度変動の分散が平均濃度分布に大きく寄与していることが考えられる。

一方、本テーマで昨年度に実施した数値解析では、濃度フラックスの算出の際には勾配拡散近似を仮定し、モデル係数（乱流シュミット数）を変更することによる拡散場の予測精度の検証を実施した（図 7）。しかし、本実験や既往の研究結果からも分かる通り、濃度変動の分散 $\langle c'^2 \rangle$ で浮力の影響が顕著に見られ、浮力ガスのモデル化の際には $\langle c'^2 \rangle$ の再現が重要であることを確認した。今後、本実験を対象とした数値解析を実施するなどし、拡散場における浮力のモデル化を検討することで、本テーマの成果を活用していく予定である。



(1) 乱流シュミット数 0.5      (2) 乱流シュミット数 0.7      (3) 乱流シュミット数 0.9

図 7 CFD による予測値と実験値の関係

**【数値解析と風洞実験（過去の実験）との比較】**

- ・ 乱流シュミット数 ( $S_{ct}$ ) = 0.7 が最も実験を良く再現
  - ・  $S_{ct}$  = 0.5 では排出口近傍の濃度拡散を大きめに評価、風下側への濃度輸送は小さく評価
- 全体として濃度分布が実験から離れる結果

● **まとめ**

- ・ 2つパターンで密度差有無のガスを用い、建物周りの濃度場の計測を実施。
- ・ 密度差（浮力）有の場合は鉛直方向だけではなく、水平方向への広がりも見られた。
- ・ 濃度変動の分散 $\langle c'^2 \rangle$ で浮力の影響が顕著に見られ、浮力ガスのモデル化の際には $\langle c'^2 \rangle$ の再現が重要であることが分かった。
- ・ 今後は本実験を対象とした数値解析を実施するとともに、実験結果との比較などから浮力ガスのモデル化を検討していく。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

無し

5. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 澄

(清水建設)

(2) 研究分担者

1. 白澤 多一

(大妻女子大学)

2. 福留伸高

(東京工芸大学)

3. 立花 卓巳

(東京工芸大学)

4. 野津 剛

(清水建設)

5. 小野 梓

(清水建設)