

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 2 日現在

機関番号：82641

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820289

研究課題名(和文) 接地境界層外乱流を考慮した都市内のガス拡散手法の開発

研究課題名(英文) Development of gas dispersion within urban canyons considering turbulent flows outside surface layer

研究代表者

道岡 武信 (Michioka, Takenobu)

一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員

研究者番号：20371370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：2次元および3次元キャニオン内を対象として、キャニオン上空の接地境界層外の乱流がガス拡散に及ぼす影響をラージ・エディ・シミュレーションにより検討した。その結果、キャニオン内の濃度は風下に行くに従い増加し、5～7列目より風下ではほぼ同じ分布となることがわかった。また、キャニオン群の端ではキャニオン外の乱流の影響を受けるが、5～7列目以降ではキャニオン内で生成される組織的な乱流構造がキャニオン内からのガス放出に強く影響することがわかった。

研究成果の概要(英文)：Large-eddy simulations were conducted to investigate the effect of the turbulent flows outside surface layer on the gas removal from the two-dimensional and three-dimensional street canyon. The results show that the mean concentration within the canyon increases as the fetch increases, and roughly reach a near constant value after fifth to seventh canyon. In addition, at the first and third canyons the low-momentum fluid does not always affect pollutant removal, but as the fetch increases the low-momentum fluid gradually affects pollutant removal.

研究分野：流体

キーワード：ガス拡散 乱流構造 数値シミュレーション 都市

### 1. 研究開始当初の背景

都市内での大気質の改善策や防災などに関連したガス拡散において、接地境界層内のシアーなどの機械的に生成される小さな乱流渦がガス拡散を支配すると言われてきた。しかしながら、キャニオン上空には大規模で組織的な乱流構造が存在することが明らかになってきており、完全発達した乱流場による検討では、キャニオン上空の組織的な乱流がキャニオン内のガス拡散に強く影響することが明らかになってきた。一方、都市上空にはキャニオンで生成される乱流だけではなく、キャニオン外で生成された乱流渦も存在しており、その乱流も都市内のガス拡散に大きな影響を与える可能性がある。一般的な数値シミュレーションでは、完全発達した乱流場におけるガス拡散挙動に関する検討は多く実施されているものの、キャニオン上空の接地境界層外で生成される乱流は再現されないため、ガスの拡がり幅などのガス拡散挙動が実大気のものとは異なる可能性がある。たとえば、接地境界層外に存在する風向変動のような大規模な乱流が再現されない数値シミュレーションでは、ガスの拡がり幅が実大気のものより小さくなることが指摘されている。

### 2. 研究の目的

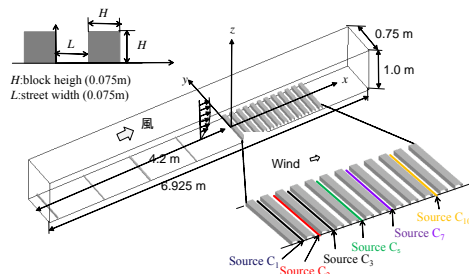
都市内のキャニオン上空の接地境界層外で生成される乱流が都市内のガス拡散に及ぼす影響を Large-eddy simulation により検討する。まずは、理想的な2次元の都市キャニオンに及ぼす影響を検討し、その後、より実街区に近い3次元キャニオン内において、接地境界層外乱流がキャニオン内のガス拡散に及ぼす影響を検討する。

### 3. 研究の方法

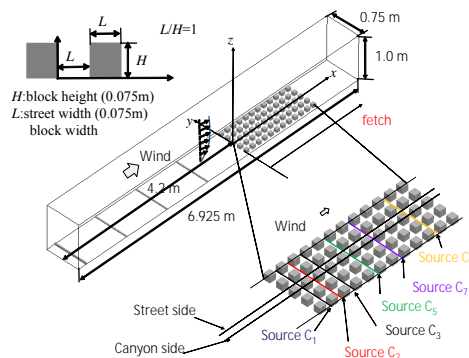
#### (1) 2次元キャニオン

図1(a)に2次元キャニオンを対象とした計算領域の概略図を示す。計算領域の大きさは、主流( $x$ )、主流直角( $y$ )、鉛直方向( $z$ )に  $6.925\text{ m} \times 0.75\text{ m} \times 1.0\text{ m}$  である。計算領域入口から都市キャニオンを模擬したブロック群までの距離は  $4.2\text{ m}$  であり、乱流の流入風を生成させるために、計算領域入口から  $0.2, 1.2, 2.2, 3.2\text{ m}$  の位置に高さ  $2\text{ cm}$  の長方形ブロックを床面に配置した。2次元キャニオンを形成するブロック高さおよび幅は  $0.075\text{ m}(H)$  である。最も風上側のブロック前面位置での高さ  $z/H = 8$  での風速は約  $3.0\text{ m/s}$  である。5種類の異なるトレーサガスは、1、2、3、5、7、10列目のキャニオン中央の床面から主流直角方向に一樣な線源として放出された。

解析には OpenFOAM を使い、サブグリッドスケールモデルには標準のスマゴリンスキーマモデルを用いた。空間補間には、物質拡散方程式の対流項には QUICK 補間を、その他には二次中心補間を適用した。ブロック壁面および床面には nonslip 条件を、計算



(a) 2次元キャニオン



(b) 3次元キャニオン

図1 計算領域の概略図

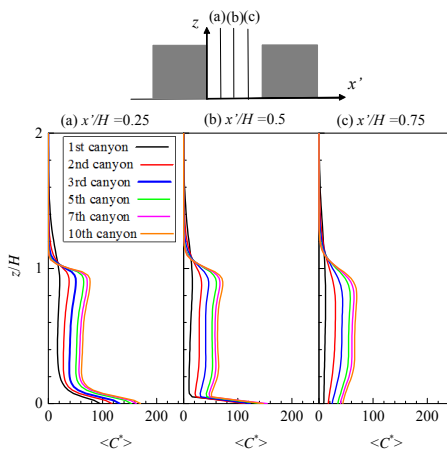


図2 2次元キャニオン内の濃度分布

領域上面にはスリップ条件を与え、主流直角方向の境界には周期境界条件を与えた。

#### (2) 3次元キャニオン

図1(b)に3次元キャニオンを対象とした計算領域の概略図を示す。計算領域、乱流を生成させる長方形ブロックの配置、線源の位置および風速は2次元キャニオンの設定と同じである。3次元キャニオンを形成するブロック高さおよび主流方向ブロック幅は  $0.075\text{ m}(H)$  であり、立方体ブロックをキャニオン幅  $L$  で規則的に配置した。解析手法に関しては、2次元キャニオンと同様である。

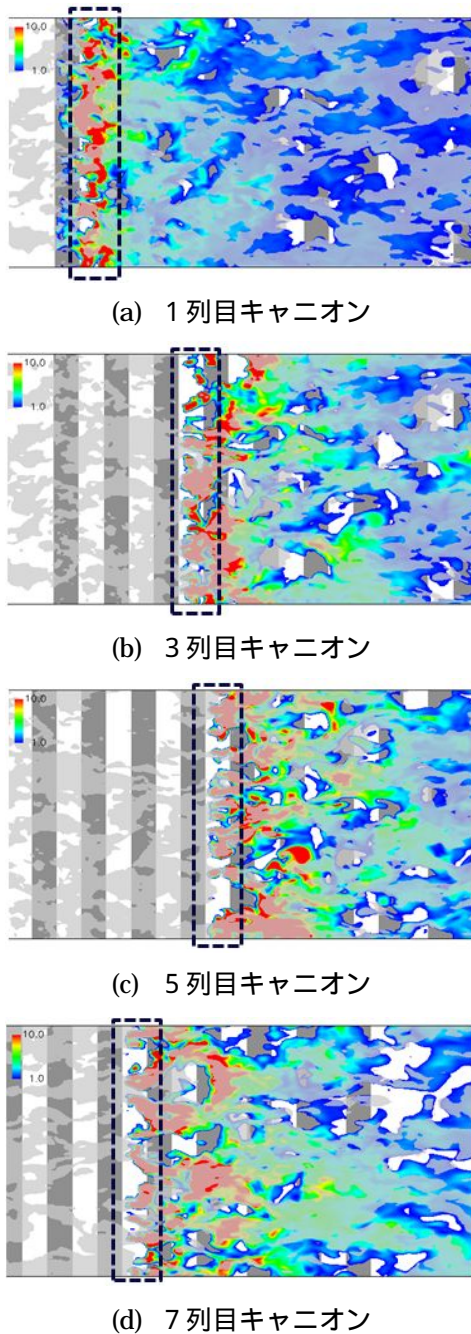


図3 低速流体塊とガス濃度の瞬間分布

#### 4. 研究成果

##### (1) 2次元キャニオン

図2に1、2、3、5、7、10列目のキャニオンにおける(a)  $x'/H=0.25$ , (b)  $x'/H=0.5$ , (c)  $x'/H=0.75$ における正規化濃度 $\langle C_i^* \rangle$ の鉛直方向分布を示す。なお、 $x'$ は各キャニオンの風上側ブロックの風下床面を原点とした風下方向距離であり、図中の濃度は各キャニオン内から放出されたガス濃度である。風下に行くに従い、後述するようにキャニオン外乱流の影響が弱くなるため、平均濃度は次第に増加する傾向にあるが、5~7列目より風下ではほぼ同じ分布となる。

ガス放出メカニズムを検討するために、図3に $z/H=1.1$ での低速流体およびガス濃度の瞬間分布を示す。図中の灰色は速度変動が負

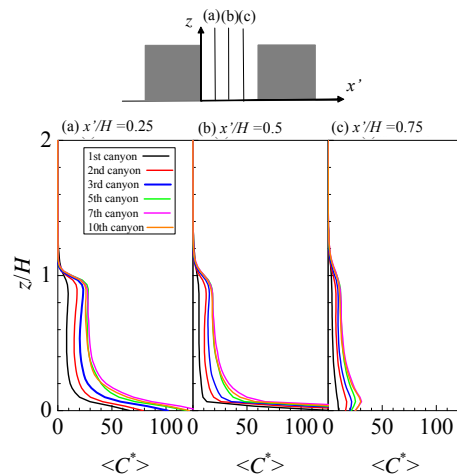


図4 3次元キャニオン内の濃度分布

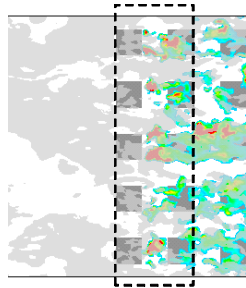
( $u < 0$ )の領域であり、破線はガスが放出されているキャニオンを表す。1、3列目のキャニオンの屋根面近傍( $z/H=1.1$ )では、灰色で示す低速流体塊( $u < 0$ )と瞬間の高濃度(図中の赤色)が完全に一致していないため、低速流体塊が必ずしもガス放出に寄与していない。これは、1列目のブロック風上面で剥離した流れもガス放出に寄与するためである。5、7列目では瞬間高濃度の分布は低速流体塊の位置とほぼ対応する。つまり、風下に行くに従い、キャニオン上空の低速流体塊がキャニオン内のガス放出に大きな影響を与え、キャニオン外乱流がガス放出に及ぼす影響は小さくなる。

##### (2) 3次元キャニオン

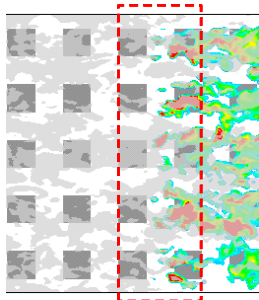
図4に1、2、3、5、7、10列目のキャニオンにおける(a)  $x'/H=0.25$ , (b)  $x'/H=0.5$ , (c)  $x'/H=0.75$ における正規化濃度 $\langle C_i^* \rangle$ の鉛直方向分布を示す。2次元キャニオンと同様に風下に行くに従い、キャニオン内の濃度は増加し、5~7列目より風下ではほぼ同じ分布となる。

図5に $z/H=1.1$ での低速流体およびガス濃度の瞬間分布を示す。図3に示す2次元キャニオンの図とは多少違い、1、3列目のキャニオンの屋根面近傍( $z/H=1.1$ )でも、灰色で示す低速流体塊( $u < 0$ )が瞬間の高濃度(図中の赤色)に一致する傾向にあることがわかる。ただし、1列目のキャニオン上空で形成された低速流体塊は1列目のブロック(建物)前面からのはく離によって影響を受けるため、5、7列目上空の低速流体塊の構造とは違うものであることに注意が必要である。

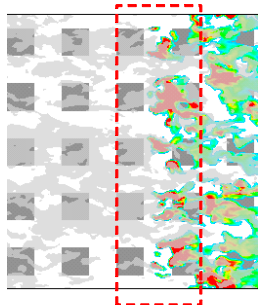
以上のことから、ガスがキャニオン内から放出された場合、キャニオン郡の端ではキャニオン外の乱流の影響を受けるが、2次元および3次元キャニオンいずれの場合でも、5~7列目以降ではキャニオン内で生成される接地境界層内の乱流構造が支配的になる。本研究では、接地境界層外の風向変動などの大きな乱れがガス拡散に及ぼす影響まで検



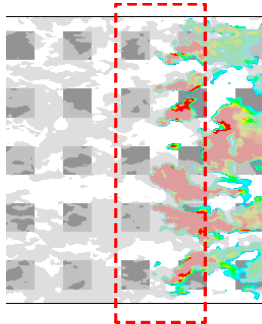
(a) 1列目キャニオン



(b) 3列目キャニオン



(c) 5列目キャニオン



(d) 7列目キャニオン

図 5 低速流体塊とガス濃度の瞬間分布

討できなかったため、今後、さらなる研究が必要である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

T. Michioka, A. Sato, K. Sada, Large-eddy simulation coupled to mesoscale meteorological model for gas dispersion in an urban district. Atmospheric Environment, 査読有, Vol.

75, 2013, pp. 153-162.

DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.04.017

T. Michioka, H. Takimoto, A. Sato, Large-Eddy Simulation of Pollutant Removal from a Three-Dimensional Street Canyon. Boundary-Layer Meteorology, 査読有, Vol. 150, 2014, pp. 259-275.

DOI 10.1007/s10546-013-9870-6

〔学会発表〕(計5件)

道岡武信、瀧本浩史、佐藤歩、温度成層条件下における都市キャニオン内からの汚染物質放出挙動の検討、第54回大気環境学会年会、2013年9月18日、朱鷺メッセ(新潟県・新潟市)

道岡武信、瀧本浩史、佐藤歩、上空の乱流構造が都市キャニオン内のガス拡散に及ぼす影響、日本機械学会流体工学部門講演会、2013年11月10日、九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市)

T. Michioka, H. Takimoto, Y. Hattori, A. Sato, Effect of fetch on pollutant removal mechanism from a two-dimensional street canyon, The 6th International Symposium on Computational Wind Engineering, 9<sup>th</sup> June 2014, University of Hamburg, Germany.

道岡武信、瀧本浩史、佐藤歩、街区外乱流が街区内の汚染物質放出に及ぼす影響、第55回大気環境学会年会、2014年9月18日、愛媛大学(愛媛県松山市)

道岡武信、瀧本浩史、佐藤歩、風向変動が都市内のガス拡散に及ぼす影響、第28回数値流体力学シンポジウム、2014年12月11日、タワーホール船堀(東京都)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

道岡 武信(MICHIOKA TAKENOBU)

一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員

研究者番号: 20371370

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし