

令和元年5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14344

研究課題名（和文）粒子画像を用いた風速・濃度の高解像度同時測定手法の開発

研究課題名（英文）Development of high-resolution and simultaneous measurement method of wind speed and concentration using particle images

研究代表者

菊本 英紀（Kikumoto, Hideki）

東京大学・生産技術研究所・講師

研究者番号：80708082

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、都市空間内の気流と汚染物質拡散に関する風洞実験において、粒子画像を用いて風速と濃度分布を高い空間解像度で計測する手法に関して検討を行った。まず、粒子画像流速測定法を都市キャニオン内および単体建物周辺の気流計測に適用し、その計測値の信頼性の検証や面的な風速データによる都市気流解析を実施した。また、粒子画像を用いた濃度分布測定システムを構築し、都市キャニオン内での汚染物質拡散の計測に適用した。そして、その計測値の信頼性を検証するとともに都市空間からの汚染物質排出機構に関する分析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、粒子画像を用いた風速・濃度の測定手法を開発し、都市気流および汚染物質拡散を対象とした風洞実験における風速および濃度分布計測値の空間解像度詳細化を目指すものである。本開発手法を用いた風洞実験により、従来の熱線風速計や高応答炭化水素濃度計による点計測では取得が困難であった環境情報の瞬時的なデータをもとに、都市空間における汚染物質の高濃度域の検出や拡散経路の追跡などが実現できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined methods to measure wind velocity and concentration distribution with high spatial resolutions using particle images in wind tunnel experiments on air flow and pollutant dispersion in urban space. First, particle image velocimetry was applied to air flow measurement in the urban canyon and around a single building. The reliability of the measured values was verified, and urban air flow analysis using spatial wind velocity data was performed. In addition, we developed a measurement system of concentration distribution using particle images and applied it to the measurement of pollutant dispersion in urban canyon. Then, the reliability of the measured value was verified and the analysis on the pollutant discharge mechanism from the urban space was conducted.

研究分野：都市・建築環境工学

キーワード：建築環境・設備 自然現象計測 大気現象 防災

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、都市への人口集中が進み、高密度な都市開発が行われている。これに伴い、都市空間の換気性能が低下し、自動車排ガスをはじめとする汚染物質が滞留しやすい空間が多数生じている。汚染物質が滞留する空間に長時間滞在すれば、人体の健康に悪影響を及ぼす恐れがある。また、テロなどにより有害危険物質が放出され、都市空間に滞留した場合には、短時間の暴露でも人々の生命に関わる危険性がある。したがって、都市空間における汚染物質の高濃度域の検出、拡散経路の追跡などを行い、汚染物質拡散の構造解明、対策提案を行うことが、安全かつ快適な都市空間を創造する上で重要である。

(2) 従来からの風洞実験を用いた都市空間における気流と汚染物質拡散の構造解明、対策提案においては、風速測定、濃度測定にはそれぞれ主に熱線風速計 (CTA: Constant temperature anemometer) 高応答炭化水素濃度計 (FID: Flame ionization detector) が用いられてきた。しかし、これらは風洞内に有限個のセンサーを配置して行う点計測である。点計測では、高解像度な測定を行うことは困難であり、汚染物質の高濃度域の検出、拡散経路の追跡などを行い、汚染物質拡散の構造解明、対策提案を行うための十分な実験データを得ることが困難であった。

2. 研究の目的

(1) 風洞実験において粒子画像流速測定法 (PIV: Particle image velocimetry) と呼ばれる流れに沿って移動する粒子の画像を時々刻々記録し、粒子の移動距離から風速を推定する風速測定手法が用いられるようになってきており、風速の面的測定及び高解像度化が進められている。そこで、PIV を都市空間内の気流計測に適用し、その計測値の信頼性の検証や面的な風速データによる都市気流の特性を解析する。

(2) 濃度測定に関しては依然として FID による点計測が主流であり、その高解像度化は十分に進展していない。そこで、風洞実験における濃度測定に風速計測と同様に粒子画像を活用し、高解像度な濃度測定手法の開発を行う。また、粒子画像に基づく風速・濃度同時測定に関する検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 粒子画像を用いた建物周辺気流の計測と分析

PIV は、近年、都市あるいは建物周辺気流に限らず様々な分野の流速計測に適用されるようになってきた。しかし、PIV は、レーザーやカメラの設置位置・方法、計測パラメータの設定、粒子の導入方法など、様々な要素が影響するため、計測対象とする気流の特性によってそれらの最適な値や方法、およびその結果得られる風速値の信頼性は個別に検証する必要がある。そこで、モデル化された都市空間あるいは建物周りの気流に関する風洞実験を行い、PIV による風速測定を実施した。また、従来から用いられる CTA を使った風速計測も併せて実施し、PIV による計測値の妥当性検証を行った。

(2) 粒子画像を用いた濃度計測手法の開発

PIV と同様のシステム (レーザー、カメラ、粒子発生装置) を用いることで汚染物質に見立てたトレーサー粒子の画像を取得し、その粒子画像の輝度情報から濃度情報を取り出す。しかし、風速計測と同様に、計測機器の設置や計測条件の設定、また画像処理アルゴリズムの構築など、都市空間内での汚染物質拡散に特有な条件での手法の開発と信頼性評価が必要である。そこで、モデル化された都市空間内での汚染物質拡散に関する風洞実験を実施し、粒子画像による濃度分布の面的計測を行った。また、濃度計測に関しても FID を用いた従来からの点計測手法との比較を行った。

4. 研究成果

(1) 都市キャニオン内の気流に関する PIV 計測と精度検証

高密度市街地においては、建物と建物とに囲まれた都市キャニオンと呼ばれる半閉鎖的空間が多く形成される。都市キャニオンは、その空間形状から弱風になりやすく、道路交通車両からの排気ガスによる大気汚染が深刻になりやすい。そこで、都市キャニオンに形成される気流場を対象とした風洞実験を実施し、PIV を用いて都市キャニオン内の各種乱流統計量 (平均風速, 乱流強度, レイノルズストレス) の詳細な空間分布のデータを取得した (図 1)。また、得られた結果を CTA による測定結果と比較した。平均風速については、PIV と CTA の計測結果が良く一致した。乱流強度については、都市キャニオン内においては PIV と CTA の測定結果が良く一致したが、都市キャニオン上端より上方においては PIV が CTA と比較して小さい値を示すといった課題も確認された。その理由のひとつは、PIV が本質的にもつ空間フィルタリングの影響であると考えられた。また、PIV は計測システムのデータ容量の制約から 1 回あたりの計測時間を必ずしも十分に長くとることができない。そこで複数回の計測や、乱流変動の強さおよび時間スケールに関する分析などから有限の計測時間で得られた風速測定結果の不確かさを分析する手法を検討した。

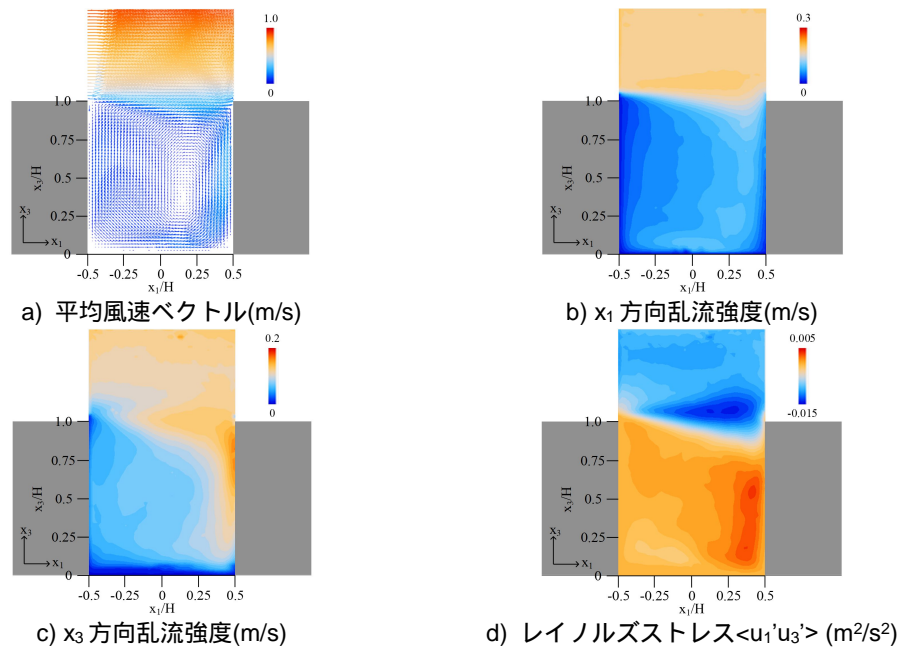


図1 都市キャニオン内外における流れ場の空間分布

(2) 高層建物周辺気流のPIV計測と流れの特性の分析

高層建物周辺には、いわゆるビル風と呼ばれる高風速現象が多く発生する。しかし、これまでCTAを用いた点計測では、平均風速やその他統計量の空間分布は調べられるものの、瞬時的な高風速現象がどのような空間分布として発生しているのか、といったことを計測によって明らかにすることが困難であった。そこで高層建物を模擬した単体建物モデルを風洞装置内に設置し、その建物モデル周辺気流をPIVによって計測した。PIVによって、歩行者レベルを想定した床面近傍の水平断面における瞬時風速分布を捉えることができた。また、平均風速分布だけでなく条件付き平均によって高風速発生時など特定の状況における流れ場の特徴を調べることができた(図2)。また、PIVによって実現される高空間解像度での計測によって、例えば、平均風速と瞬間風速が最大となる位置が必ずしも一致しないことなどを明らかにした。さらに、空間相関や空間微分を必要とする量(風速場の回転や発散など)に関する分析にもPIV計測が活用できることを示した。

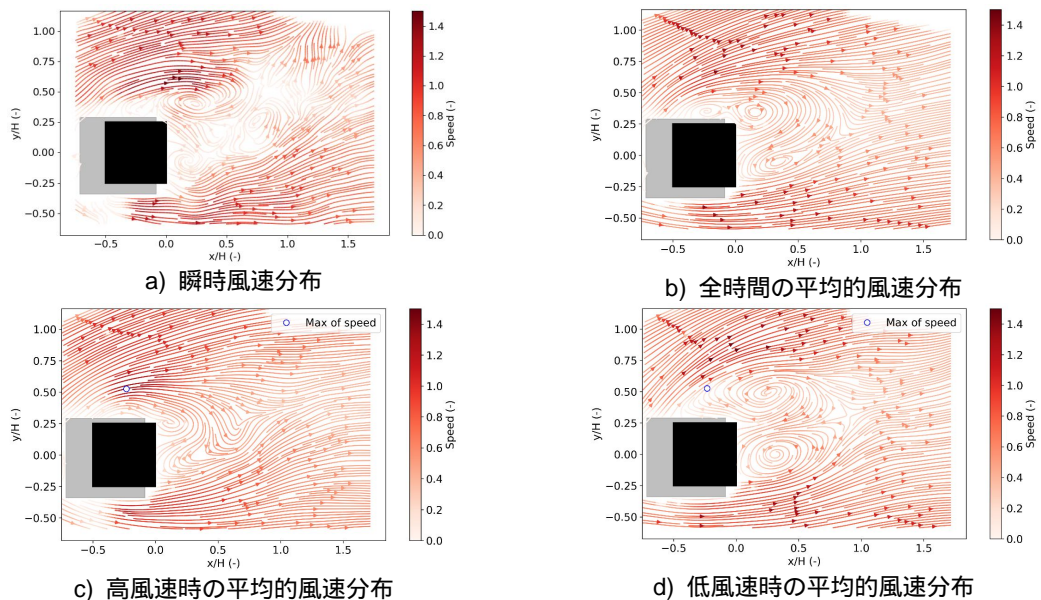


図2 単体建物モデル周辺気流の計測結果

(3) 粒子画像による濃度分布計測手法の開発と都市キャニオン空間における拡散現象の計測

先に述べたように、都市キャニオン空間内は弱風となりやすく、汚染物質が滞留しやすい。そして、汚染物質は都市キャニオン上端に生じる自由せん断層と呼ばれる乱流変動が活発な層を通過し、上空へと排出されるが、そのダイナミクスを風洞実験によって明らかにした例は少ない。そこで、まず境界層風洞において、都市キャニオン空間での拡散現象を対象とした粒子画像の取得を行った。そのデータを用いて都市キャニオン内での汚染物質濃度の高解像度計測を実現するとともに(図3)、都市キャニオン外への汚染物質排出機構に関する分析を行った。

また、風洞実験の実施に当たっては、トレーサー粒子の安定的供給方法に関する検討を行った他、得られた粒子画像から輝度値を取得し空間中の粒子濃度を評価するシステムを構築した。さらに、同都市キャニオン空間でのトレーサーガスの拡散実験を行い、FIDによる濃度計測を行った。そのデータを基に粒子画像から得られた濃度計測値の妥当性評価を行うとともに、粒子画像のバックグラウンド・ノイズの影響を低減する方法など濃度分析手法の改善に関する検討などを行った。

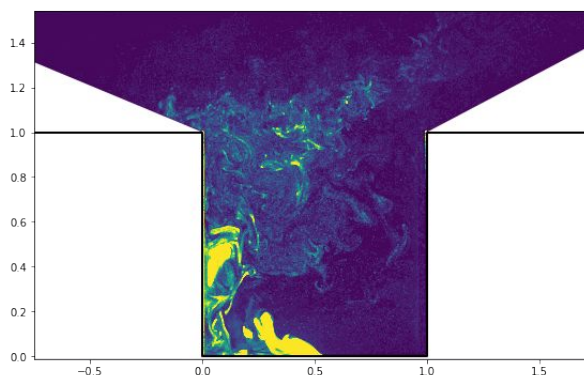


図3 粒子画像から得た都市キャニオン空間内での瞬時濃度分布の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Large-eddy simulation of pollutant dispersion in a cavity at fine grid resolutions, *Building and Environment*, 127, 127-137, 2018.1
doi: 10.1016/j.buildenv.2017.11.005

〔学会発表〕(計 4 件)

菊本英紀, 大岡龍三, 都市境界層流におけるピーク風速の確率的予測に関する風洞実験, 日本流体力学会年会 2018, 大阪大学, 2018

Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Large-eddy simulation at high-spatial resolution of gaseous dispersion experiment in a cavity, IAQVEC 2016, 1068, Seoul, Republic of Korea, 2016

中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, 境界層の発達に及ぼす影響に関する PIV 測定, 日本流体力学会年会 2016, 名古屋工業大学, 2016

中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, 小林真太郎, PIV を用いた都市キャニオン内外における流れ場の測定(その1)熱線風速計との比較による PIV の測定精度に関する検討, 日本建築学会大会(九州), 41376, 福岡大学, 2016

〔その他〕

ホームページ等

<http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp/>

<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/~kkmt/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 大岡 龍三

ローマ字氏名: OOKA, Ryozo

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 生産技術研究所

職名: 教授

研究者番号(8桁): 90251470

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。