

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2012～2016

課題番号：24226013

研究課題名(和文)都市環境防災のための高解像度気象情報予測プラットフォームの構築

研究課題名(英文)Development of a meteorological information platform with high spatial resolution for the urban environment and disaster reduction

研究代表者

大岡 龍三(OOKA, RYOZO)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：90251470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 156,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、健康・安全かつ環境負荷の小さい都市空間の形成を目的として、マルチスケール・マルチフィジックスな高解像度気象情報予測プラットフォームの構築を行った。研究期間にわたる成果は下記の通りである。GISを活用した都市パラメータの整備。大気観測による風速プロファイルのモデル設定。LES(Large Eddy Simulation)様々な温度成層下の乱流統計量のデータベースの作成。LESにおける流入境界の作成。領域気象において、都市汚染物の拡散性状を評価と集中豪雨発生メカニズムの解明。気候変動および都市温暖化を考慮した気象データの作成。高密度市街地の大気環境の移動計測の確立。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a multi-scale / multi-physics high resolution climate information prediction platform. The results during the research period are as follows. (1) Urban parameters were arranged using GIS as a boundary condition of the platform. (2) We carried out the atmospheric observation and made the model of the wind profile necessary for the urban design. (3) Database of turbulence statistics under various temperature stratification for high density urban area by LES was created. (4) We examined inflow turbulence generation method in LES from coarse-grained turbulence statistics. (5) In the meso-scale meteorology, we evaluated the diffusion behavior in urban areas and clarified the mechanism of the local heavy rainfall. (6) Dynamic down-scale method for connecting global climate model to meso-scale model for building heat load was established. (7) We investigated the atmospheric environment of high density urban area with high resolution by moving measurement.

研究分野：建築環境工学

キーワード：都市気候 都市環境 地球環境 微気象 領域気象

1. 研究開始当初の背景

気象現象は人々の生活を取り巻く第一次的な環境の境界条件であり、我々の生活に多大な影響を及ぼす。災害面でいえば、近年注目を集めている集中豪雨や局所的大雨、2011年9月13日に発生した台風15号(Roke)による被害、都市域の劣悪な暑熱環境による数多くの熱中症患者の発生などが記憶に新しい。また環境面では、ヒートアイランドによるエネルギー消費の増大とエネルギー供給安定性の問題、渇水の危険性等の問題や、都市空間の高密度利用の進展による局所的な大気の高濃度汚染が発生するといった問題が挙げられる。

2. 研究の目的

これら近年の都市環境や災害の問題に対処するためには、10km オーダーの解像度で予測する既存の気象情報予測ツールでは不十分である。そこで、本研究では、健康・安全かつ環境負荷の小さい都市空間の形成を目的として、マクロな気象情報からミクロな気象情報をダウンサイズする手法の開発、あるいはミクロ解析の結果からマクロな解析モデルの予測精度向上を図り、大気汚染や雲形成などを含めたマルチスケール・マルチフィジックスな高解像度気象情報予測プラットフォームの構築を行う。

3. 研究の方法

本研究は主に3つの段階から構成される。

(1) 街区(ミクロ)モデルの開発

実在街区での屋外実測により都市大気環境の把握を行うとともに、風洞実験及びチャンバー実験によって非等温場や大気汚染物質の化学反応性を考慮した拡散実験を行い数値モデルの検証用データとする。それと同時に、LES (Large-eddy simulation) を用いたミクロ解析を行い、キャノピーモデルや積乱雲の生成・消滅モデルなどマクロな解析で用いられる数値モデル構築のための基礎データを整備する。

(2) 領域(メソ)モデルの開発

都市スケールの領域モデルの開発を行う。都市域の高濃度汚染、集中豪雨を予測するモデルを組み込むとともに、地球スケールの大気大循環モデルを連結することにより将来の領域気候を予測するシステムを開発する。

(3) モデルの連結と統合モデルのプリ・ポスト整備

メソとミクロモデルの連結には、境界条件として流入変動風の作成手法の整備と、大気大循環とメソの連結には力学的ダウンスケールによる接続方法を確立する。さら、入力として GIS (Geographic information system) データと各気象観測所観測値を、出力として BIM (Building information model) 利用するインターフェースを構築し、気象情報プラットフォームの構築を行う。

4. 研究の成果

(1) 屋外観測による都市上空風の実態調査

まず実際の大気環境を把握するため、リモートセンシングによって上空風速の計測が可能なドップラーライダーシステムを東京都内に設置し、都市大気境界層の風速分布の継続的観測を行った。大気境界層下層における水平方向平均風速の鉛直分布に関して、これまで様々なモデル化に関する検討が行われてきたが、多くの場合、かなり理想的な状態においてのみ有効なモデル式が使用されてきた。しかし、現在、我々は極めて不均一な地表面粗度をもつ都市上空の大気境界層内において発生する熱や大気汚染といった問題に直面しており、従来の風速モデルの前提条件から逸脱した状況を解析しなくてはならない。そこで、本研究では地上付近から上空高度約500mまでの風速3次元成分を観測し、その統計的性質を分析している。

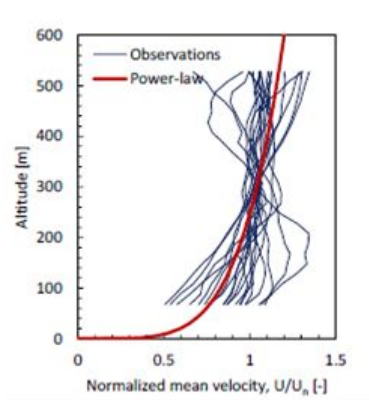


図1 ドップラーライダーシステムによる風速プロファイル(1時間平均)と指数プロファイル

(2) 移動観測による都市大気環境の把握

移動計測手法を利用して、都市大気観測における空間解像度の飛躍的な向上を目指した。渋谷区の住宅街と新宿区を対象に、気温と粒子状物質(Particle Matter, PM)を計測した。ここでは、PMの空間分布特性とその粒径依存性を明らかにした。さらに実測結果に対して通常型クリギングによる空間補間を行うことで、より詳細な空間分布の傾向を確認することができた。またこれらの結果をGIS上に落とし込むことにより、より簡易な解析が可能となる。

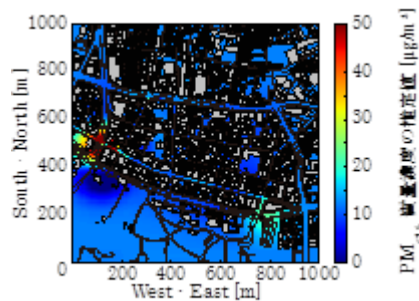


図2 通常型クリギングによるPM2.5質量濃度推定値の空間分布

(3) LES と PIV による街区大気環境解析

近年の計算機性能の向上により、数値流体解析を用いた都市環境問題の予測・対策評価が可能となっている。しかし、実用計算に用いられる定常解析が可能なモデルでは都市低層部において予測精度が低下することが指摘されている。今まで都市空間における数値予測モデルの精度評価は主に風洞実験との比較により行われてきた。しかし、風洞実験では乱流の詳細な物理機構について計測を行うことが困難である。そこで、本研究では高密度市街地を対象として先進的な乱流モデルである LES を用いたデータベースを作成し、簡易モデルの予測精度評価、運動量の乱流輸送の物理機構、モデル化について検討を行っている。

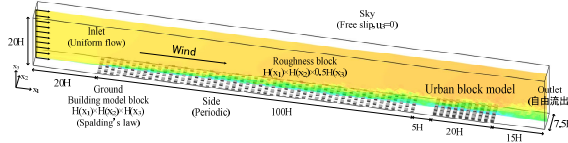


図3 LESによる街区大気シミュレーション

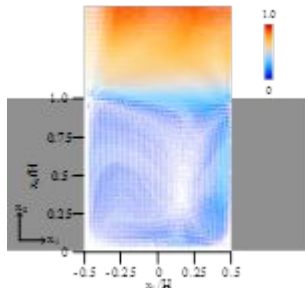


図4 都市キャニオン内の平均風速のPIV測定

(4) 局所的豪雨の数値シミュレーション

都市域で発生する強雨は、その発生に都市の存在が関与している可能性がある。都市効果に限らず関東平野での強雨の発生プロセスは多様性があるため、発生プロセスを理解するには、様々な事例解析を積み上げることが重要である。その一環として関東地方で発生した短時間強雨を対象として、格子解像度1kmのメソ解析モデルを用いた再現実験を実施した。特に強雨が発生した風の収束域に注目し、その風の収束域におけるエネルギー収支を詳細に分析することで強雨発生直前の水蒸気輸送過程を明らかにした。本論文を通じて、東京の降雨に対する都市影響を考察する一助となると期待できる。東京の降雨に先立って海風の収束があることが知られているため、その収束に伴う水蒸気動態に特に着目する。まず、数値計算によって、都市域における降雨に先立つ水蒸気の輸送経路を明確にし、都市域での水蒸気集積量をGPS可降水量に基づく観測により定量的に示し、数値計算結果を実証することである。さらに、水蒸気集積が降雨発生に与えるインパクトを明らかにする。

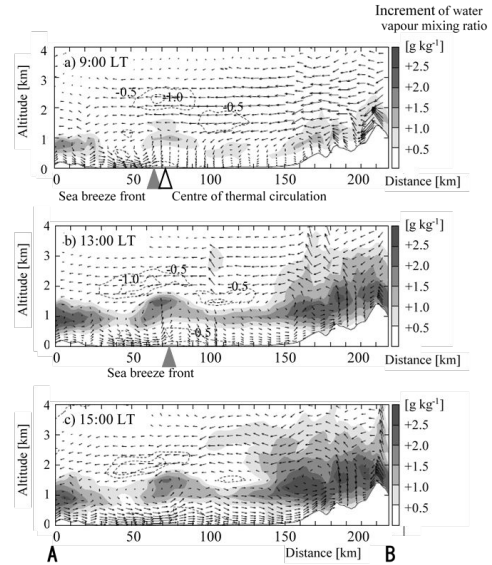


図5 降雨前後の水蒸気分布のシミュレーション

(5) LESにおける流入変動風作成手法の開発

マクロモデルからマイクロモデルへのダウンスケリングの基本は、領域気象モデルの結果を工学LESモデルの境界条件として受け渡すことである。しかし、1~数km程度の格子解像度の領域気象モデルの結果のみでは、LESモデルの境界条件として必要となる微細な乱流変動を与えることはできない。本研究では、LES解析において人工的に流入境界に乱流変動を付与する手法の改良および実装を行いその性能評価を行っている。

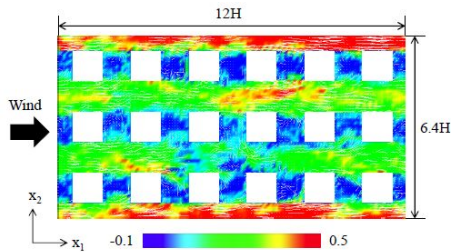


図6 流入変動風の生成

(6) 近未来の気象データ作成

建築の室内温熱環境は建築をとりまく気象条件に左右されるため、気候に適した建築設計により省エネや快適性を実現するため、気象データを用いた熱負荷予測計算が行われる。既存の建築熱負荷計算のための気象データは各地域の現在や過去の観測値を基にして作成される。しかし、気候変動へ適応した建築設計を行うには、建築熱負荷計算においても気候変動を考慮する必要がある。そのためには将来予測に基づく将来の標準気象データが欠かせない。本研究では、本開発システムのアウトプットのひとつとして、全球気候モデルによって予測された気象データに対して、ダウンスケリング手法によって物理的に時間・空間詳細化を行うことにより、将来の気象データを作成した。この気象デー

タを用いた建築熱負荷計算を実施し、気候変動が建築熱負荷へ与える影響を評価した。

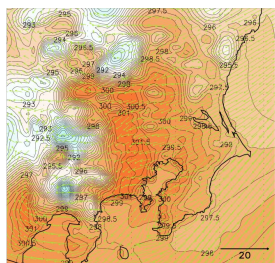


図 7 力学的ダウンスケールによる関東地方局所気象の再解析

(7) 上記モデル統合プラットフォームの開発
上記モデルはすべて Linux 上にインストールされ、稼働することにより、統合プラットフォームとして連成解析することが可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 19 件)

- 1) 林 鍾衍, 大岡 龍三, 都市の風通しに関する建物形状の影響のパラメトリックスタディ CASBEE-HI の風通しに関する採点基準の評価を中心として, 日本建築学会環境系論文集, 第 679 号, 721-728, 2012, 査読有
- 2) H Kikumoto, R Ooka, A numerical study of air pollutant dispersion with bimolecular chemical reactions in an urban street canyon using large-eddy simulation, Atmospheric Environment 54, 456-464, 2012, 査読有
- 3) H Kikumoto, R Ooka, A study on air pollutant dispersion with bimolecular reactions in urban street canyons using large-eddy simulations, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 104, 516-522, 2012, 査読有
- 4) 山中徹, 大岡龍三, 関東における夏季静穏日の水蒸気輸送に関する都市効果, 日本建築学会環境系論文集, 第 698 号, 339-348, 2014, 査読有
- 5) 林鍾衍, 大岡龍三, 東京 23 区の地理情報システムデータに基づいた街区幾何形状パラメータの相関分析高密度市街地の街区風環境のパラメタリゼーションに関する研究 その 1, 日本建築学会環境系論文集, 第 703 号, 785-794, 2014, 査読有
- 6) Kikumoto, H., Ooka, R. et al., Study on the future weather data considering the global and local climate change for building energy simulation, Sustainable Cities and Society, 14, pp.

404-413, 2015, 査読有

- 7) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Yusuke Arima, A study of urban thermal environment in Tokyo in summer of the 2030s under influence of global warming, Energy and Buildings 114, pp.54-61, 2016, 査読有
- 8) Yusuke Arima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Toru Yamanaka, Effect of climate change on building cooling loads in Tokyo in the summers of the 2030s using dynamically downscaled GCM data, Energy and Buildings 114, pp.123-124, 2016, 査読有
- 9) Jongyeon Lim, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Effect of diurnal variation in wind velocity profiles on ventilation performance estimates, Energy and Buildings 130, pp.397-407, 2016, 査読有
- 10) 飯塚悟, 玄英麗, 気象モデルと工学LESモデルのシームレスな結合手法の開発(その2)人工的なLES流入変動風に対する連続条件の課し方の提案と平板境界層流解析への適用, 日本建築学会環境系論文集 81, pp.811-817, 2016, 査読有
- 11) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, クオンタイルマッピングによる建築熱負荷計算用の気象データ作成のための全天日射量のバイアス補正手法, 日本建築学会環境系論文集 81, pp. 1047-1054, 2016, 査読有
- 12) Yusuke Arima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Proposal of typical and design weather year for building energy simulation, Energy and Buildings 139, pp.517-524, 2017, 査読有
- 13) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, 温度成層条件下の都市キャニオン流れに関する LES と標準 k- モデルの予測精度評価, 日本風工学会論文集 42, pp.9-21, 2017, 査読有
- 14) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Hirofumi Sugawara, Jongyeon Lim, Observational study of power-law approximation of wind profiles within an urban boundary layer for various wind conditions, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 164, pp.13-21, 2017, 査読有
- 15) 横山広樹, 大岡龍三, 菊本英紀, 気温計測に基づく移動計測手法の適用可能性に関する検討: 移動計測を用いた高密度市街地における大気環境の高解像度観測 その1, 日本建築学会環境系論文集 82, pp.767-777, 2017, 査読有
- 16) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, LESを用いた温度成層下の都市キャニオンにお

ける標準k-モデルの乱流フラックスモデリングの妥当性評価, 日本建築学会環境系論文集 82, pp.893-903, 2017, 査読有

- 17) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Large-eddy simulation of pollutant dispersion in a cavity at fine grid resolutions, Building and Environment 127, p.p.127-137, 2018, 査読有
- 18) Yusuke Arima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Performance verification of typical and design weather year by thermal load calculation targeting office building, Building Services Engineering Research and Technology, , 2018, 査読有
- 19) Keigo Nakajima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Evaluation of k- Reynolds stress modeling in an idealized urban canyon using LES, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 175, 213-218, 2018, , 査読有

[学会発表](計 38 件)

- 1) H Kikumoto, R Ooka, Experiment and large eddy simulation of passive scalar dispersion within an urban canyon, The 8th International Conference on ICUC, 2012
- 2) J Lim, R Ooka, Building shape optimization for urban ventilation potential based on CFD simulation, The 8th International Conference on ICUC, 2012
- 3) 林 鍾衍, 大岡 龍三, 風通しを考慮した建物最適配置手法に関する研究(その3) GIS データを用いた高密の市街地における街区形状パラメータの独立性の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演会, 2012
- 4) 菊本英紀, 大岡龍三, 都市キャニオン内の濃度変動に関する拡散実験と Large-Eddy Simulation, 日本建築学会大会, 2012
- 5) 菊本英紀, 大岡龍三, Subgrid scale での濃度変動がストリートキャニオン内の汚染物質拡散予測に与える影響, 日本流体力学会年会, 2012
- 6) 林 鍾衍, 大岡 龍三, 都市地表面の粗度長及びゼ口面変位の推定に関する数値解析, 第 26 回数値流体力学シンポジウム, 2012
- 7) 菊本英紀, 大岡龍三, 有馬雄祐, 山中徹, GCM を使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究(その1)再解析データを用いた過去再現実験による領域気象モデルの予測精度の検証, 日本建築学会大会, 2013
- 8) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹,

GCM を使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究(その2)MIROC を用いた過去再現実験による領域気象モデルの予測精度の検証, 日本建築学会大会, 2013

- 9) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, Large Eddy Simulation を用いた都市境界層における乱流組織構造に関する数値解析(その1)都市境界層に発生する乱流組織構造の運動量輸送及び時空間スケールに関する検討, 日本建築学会大会, 2013
- 10) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, 温度成層を考慮した都市境界層における運動量及び熱の輸送効率に関する Large-eddy simulation, 日本流体力学会年会, 2013
- 11) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹, GCM を使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究領域気象モデルによるダウンスケーリングの必要性, 日本気象学会秋季大会, 2013
- 12) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, 空間発達する都市境界層における運動量の輸送効率に関する Large-eddy simulation, 日本気象学会秋季大会, 2013
- 13) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, LES を用いた都市境界層におけるレイノルズ応力の収支構造の解析, 第 27 回数値流体力学シンポジウム, 2013
- 14) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Satoru Iizuka, Large-eddy simulation of the turbulent boundary layer using generated inflow turbulence with estimated statistics, APCWE-VIII, 2013
- 15) Keigo Nakajima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Large-eddy simulation of efficiency of momentum transport in spatially developing urban boundary layer, AMS 94th Annual Meeting, 2014
- 16) Yusuke Arima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Toru Yamanaka, A study using future weather data in considering of climate change and local climate phenomena using dynamical downscaling for building energy simulation, AMS 94th Annual Meeting, 2014
- 17) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Yusuke Arima, Impact of global warming on the sensible heat load in a detached house in Tokyo in the 2030s, AMS 94th Annual Meeting, 2014
- 18) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Study on SGS concentration variance in large eddy simulation for disporting plume within urban canyon, CWE2014, 2014
- 19) Keigo Nakajima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Large-eddy simulation of the momentum and heat transport of turbulent structures in an urban boundary layer with thermal

- stratification, CWE2014, 2014
- 20) 吉田巨佑, 飯塚悟, 玄英麗, 建物周辺気流解析を対象とした LES 流入変動風生成手法の比較, 日本建築学会大会, 2014
 - 21) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹, GCM を使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究 (その3) 気象データのバイアス補正と気候変動が夏季の建築熱負荷へ与える影響, 日本建築学会大会, 2014
 - 22) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, LES を用いた都市キャニオン内外におけるレイノルズ応力の収支構造の解析, 日本建築学会大会, 2014
 - 23) 菊本英紀, 大岡龍三, 林 鍾衍, ドップラーライダー観測に基づいた風速鉛直分布の平均時間とべき法則に関する検討, 日本建築学会大会, 2014
 - 24) 吉田巨佑, 飯塚悟, 玄英麗, 都市キャニオンモデルに基づく LES 流入変動風の生成, 日本流体力学会年会, 2014
 - 25) 玄英麗, 飯塚悟, 吉田巨佑, 人工的な流入変動風に対する連続条件の効果 平板境界層 LES における検討, 日本流体力学会年会, 2014
 - 26) 菊本英紀, 大岡龍三, 都市境界層における風速プロファイルのべき法則による近似精度に関する観測, 日本流体力学会年会, 2014
 - 27) Jongyoen Lim, Ryozo Ooka, Analysis of urban morphological parameters using GIS data for Tokyo, Japna, 3rd IC2UHI, 2014
 - 28) Yusuke Arima, Ryozo Ooka, Hideki Kikumoto, Toru Yamanaka, Effect of climate change on building energy simulation in Tokyo in summer of the 2030s using the dynamically downscaled GCM data, 3rd IC2UHI, 2014
 - 29) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Yusuke Arima, A study of urban thermal environment in Tokyo in summer of the 2030s under influence of global warming, 3rd IC2UHI, 2014
 - 30) 玄英麗, 飯塚悟, 吉田巨佑, 発達する乱流境界層内の建物周辺気流への人工的な流入変動風の適用, 第 28 回数値流体力学シンポジウム, 2014
 - 31) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, LES データベースを用いた都市キャニオン内外における運動量の輸送機構に関する検討, 第 28 回数値流体力学シンポジウム, 2014
 - 32) Hideki Kikumoto, Ryozo Ooka, Study of power-law approximation of wind profile in urban boundary layer with Doppler lidar measurement in Tokyo, ICWE14, 2015
 - 33) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, LES データベースを用いた都市キャニオンにおけるレイノルズ応力の勾配拡散近似に関

- する検討, 日本建築学会大会, 2015
- 34) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹, GCM を使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究 (その4) 気候変動が夏季と冬季の建築熱負荷に与える影響評価, 日本建築学会大会, 2015
 - 35) 山中徹, 大岡龍三, GNSS 可降水量から推定した夏季静穏日における都市域での水蒸気輸送, 日本建築学会大会, 2015
 - 36) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹, 近未来気象データを用いた気候変動が夏季と冬季の建築熱負荷に与える影響評価, 空気調和・衛生工学会大会, 2015
 - 37) 中島慶悟, 大岡龍三, 菊本英紀, 様々な温度成層条件下の都市キャニオン内外における LES と標準 k-εモデルの比較, 第 29 回数値流体力学シンポジウム, 2015
 - 38) 菊本英紀, 大岡龍三, 都市キャニオン内の汚染物濃度変動に関する高解像度 Large-eddy Simulation, 第 29 回数値流体力学シンポジウム, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

なし

取得状況(計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大岡 龍三 (Ryozo Ooka)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 90251470

(2) 研究分担者

加藤 信介 (Shinsuke Kato)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 00142240

菊本 英紀 (Hideki Kikumoto)

東京大学・生産技術研究所・講師

研究者番号: 80708082

飯塚 悟 (Satoru Iizuka)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号: 40356407

山中 徹 (Toru Yamanaka)

鹿島建設株式会社・技術研究所・上席研究員

研究者番号: 60416716

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし