

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360076

研究課題名(和文) マルチスケール誘起乱流の構造とスカラー拡散機構の解明および超高効率ミキサーの開発

研究課題名(英文) Investigation of the structure of multiscale-generated turbulence and scalar transport mechanism toward the development of high efficient mixer

研究代表者

長田 孝二 (Nagata, Kouji)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50274501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円、(間接経費) 3,870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、フラクタル形状を有する格子によって生成される“マルチスケール誘起乱流”の構造を風洞および水槽実験とスーパーコンピュータを用いた三次元直接数値計算(DNS)により明らかにするとともに、その中でのスカラー(熱と物質)の乱流拡散機構を明らかにすることを目的とした。

風洞実験では乱流エネルギー収支式に現れる各項を実測することにより、フラクタル格子乱流におけるエネルギー生成と減衰のメカニズムを明らかにした。また、実験では計測不可能な統計量をDNSにより調べ、フラクタル格子乱流の構造解明に寄与した。さらに、水槽実験により、フラクタル格子乱流中ではスカラーの混合が著しく促進されることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study was to investigate the structure of multiscale-generated turbulence, which was generated by the fractal-shaped grids, and scalar (i.e., heat and mass) transport mechanism by means of laboratory experiments using wind tunnels and a water channel and three-dimensional direct numerical simulations (DNSs) using a supercomputer.

The energy production and decay in the fractal-generated turbulence were investigated in the wind tunnel experiments by measuring all terms in the transport equation for turbulent kinetic energy. The DNS was used to obtain statistics which were hard to obtain in the experiments. The results of the water channel experiments showed that scalar transport is significantly enhanced in the fractal-generated turbulence.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：流体工学 乱流 スカラー 混合 ミキサー

1. 研究開始当初の背景

自己相似的なフラクタル形状を有する格子によって生成される乱流(以後、フラクタル格子乱流と記述する)は従来の正方格子によって生成される乱流よりも著しく強い速度乱れを有し、さらに、種々の乱流統計量が従来の乱流理論に合致しない“非コロモゴロフ乱流”であることが Imperial Collage London の研究グループによって示されていた(図1に正方格子とフラクタル格子の例を示す)。フラクタル形状を有する物体によって生成される乱流は、所謂“マルチスケール誘起乱流”というべきものであり、このマルチスケールでの流体加振が特殊な乱流を生み出すことが指摘されていた。しかし、マルチスケール誘起乱流に関する実験研究は上記の研究グループによるもののみであり、また、関連する数値的研究やスカラー輸送に関する研究は全く行われていなかった。したがって、研究開始当初はマルチスケール誘起乱流の詳細はほとんど明らかにされていなかった。マルチスケール誘起乱流の特性を明らかにすることは、流体物理学の発展に寄与するのみならず、マルチスケール誘起乱流が著しく強い速度乱れを発生されるという報告に基づいて考えれば、この特性を利用した超高効率工業用ミキサーの開発が期待された。

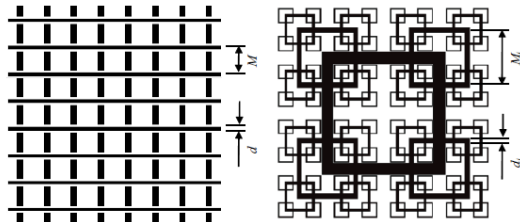


図 1: 正方格子(左)およびフラクタル格子(右)の概略

2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究では、マルチスケール誘起乱流の構造を明らかにするとともに、その中での熱や物質(スカラー)の乱流拡散現象を明らかにすることを主な目的とした。特に、“非コロモゴロフ乱流”の検証とその構造解明を目指した。さらに、得られた知見に基づき、超高効率工業用ミキサーの開発も目指した。

3. 研究の方法

研究の方法は、大別すると、風洞実験、水槽実験、および三次元直接数値計算(Three-dimensional Direct Numerical Simulation: DNS)である。

風洞実験では既存の風洞(流路断面 $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$ 、長さ 3.8 m)を用い、テストセクション入口部にフラクタル格子を設置することによりマルチスケール誘起乱流を発生させた。測定にはI型およびX型プローブを用いる熱線流速計を用いた。

水槽実験では既存の水路(流路断面 $0.1 \times 0.1 \text{ m}^2$ 、長さ 1.5 m)を用い、風洞実験と同様にテストセクション入口部にフラクタル格子を設置することによりマルチスケール誘起乱流を発生させた。また、フラクタル格子よりも上流部は上下層が完全に分離されており、下層のみから蛍光染料(ローダミン B)を均一に混入させた流体を供給することにより、格子下流に平均せん断のないスカラー混合層を形成させた。速度場の計測には粒子画像流速計(Particle Image Velocimetry: PIV)を用いた。また、蛍光染料濃度の計測には平面レーザ蛍光(Planar Laser Induced Fluorescence: PLIF)法を用いた。いずれも、レーザ光源としては、波長 532 nm 、最高出力 5 W の DPSS レーザ(既存)を用いた。

DNS には有限差分法を用い、非圧縮性流体に対するナビエ・ストークス式とスカラーの拡散方程式を連立させて、スーパーコンピュータを用いて直接解いた。速度と圧力のカップリングには部分段階法を用い、空間微分には高精度の保存型中心差分およびコンパクトスキームを、時間積分には三次精度の低容量型ルンゲクッタ法をそれぞれ用いた。本研究で開発したコードをチャンネル乱流に適用した結果、スペクトル法と同等の精度で計算が実行可能であることを確認した。

4. 研究成果

(1) 風洞実験結果

得られた主な結果は以下のとおりである。

- 種々の形状(格子棒の幅および間隔)を有する正方格子に対して、生成される乱流場にはサフマン乱流に対する普遍量が存在することが確認された。一方、フラクタル格子乱流中ではサフマンおよびバチエラーのいずれの普遍量も存在しない。
- 風洞サイズが異なっても、格子の最大厚さと入口一様流速基準のレイノルズ数 Re_0 を一致させた場合には、種々の乱流特性量の分布が既往研究結果と一致した。本研究で用いた風洞は過去の実験で用いられた風洞よりも小さいにも関わらず、 $Re_0 = 11,400$ の場合にテイラー長に基づく乱流レイノルズ数は減衰域で $350 \sim 200$ と一般的な正方格子乱流場と比べると大きな値をとった(図2)。
- 境界層が発達する壁面近傍を除けば、フラクタル格子乱流の減衰域では断面全域で積分長とテイラー長の比が下流方向にほとんど変化せず、乱流が自己相似性を示す。
- フラクタル格子乱流場におけるエネルギー輸送を明らかにした。概要は以下のとおりである。

・風洞中心軸上では乱流エネルギーは $X = x_{peak}$ の位置で最大値をとり、その後減衰する(X は格子からの下流方向距離)。 $X < x_{peak}$ では、大きな格子の後流域で乱れが生成され、その乱れエネルギーは乱流

拡散項によって中心方向と中心から離れる方向の両方へ輸送される。

- $X > x_{peak}$ の減衰域では、主に上流からの移流によって乱れエネルギーが運ばれる。また、中心からわずかに離れたところでは生産項によって乱れが生成される。
- $X > x_{peak}$ の減衰域では、圧力拡散項および粘性拡散項は断面全体で小さく、乱れエネルギー収支にはほとんど寄与しない。
- $X > x_{peak}$ の減衰域では、乱流拡散項は中心付近で負、中心から離れた位置で正となり、中心付近の乱れエネルギーは乱流拡散項により中心から離れる方向に輸送される。その結果、過去の実験結果で示されているように中心軸上での乱れ強さの減衰が通常の格子乱流よりも速くなるものと考えられる。

本風洞実験結果からエネルギーの生成・輸送過程が明らかとなった。これにより、これまで不明であったフラクタル格子乱流場の特性が明らかにされた。

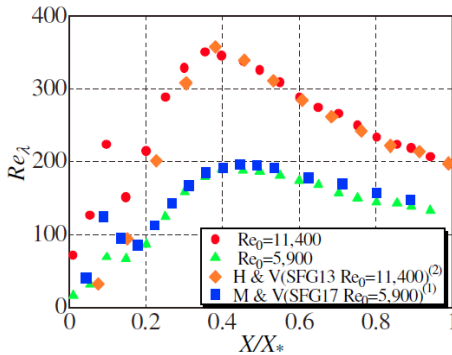


図2: テイラー長に基づく乱流レイノルズ数の下流方向分布(発表論文2)。 $X_* = L_0^2/t_0$ (L_0 は最大格子幅, t_0 は最大格子棒の厚さ): 後流干渉長さ。M & V: Mazellier, N. & Vassilicos, J. C., Physics of Fluids, 22, 075101 (2010); H & V: Hurst, D. & Vassilicos, J. C., Physics of Fluids, 19, 035103 (2007)。

(2) 水槽実験結果

得られた主な結果は以下のとおりである。

1. PIV と PLIF におけるデータ解析処理に関して、ノイズの低減および計測に及ぼす種々の誤差の要因の補正を組み込んだ高精度の処理手法を開発した。
2. 正方格子乱流とフラクタル格子乱流について減衰指数を評価した結果、正方格子乱流についてはサフマン乱流に対応する値に近いが、フラクタル格子乱流については正方格子乱流の減衰指数よりも大きくなった。これは既往結果および風洞実験結果と定性的に一致する。
3. フラクタル格子乱流場は正方格子乱流場に比べて強い速度変動と渦度を有する(フラクタル格子乱流場で計測された瞬間速度ベクトルと渦度を図3に示す)。
4. 有効格子間隔 M_{eff} 基準のレイノルズ数を一致させた場合、フラクタル格子乱流場

では正方格子乱流場に比べてスカラーが広範囲に拡散される(瞬間の混合界面の計測例を図4に示す)。スカラーの乱流拡散係数 K を評価した結果、フラクタル格子乱流場の K は正方格子乱流場のそれよりもおよそ4倍大きい値となった。

5. スカラー混合層中心軸上のスカラーバリエーションの値は、対流時間 $X/U_0 \leq 0.75$ (U_0 は一様流入流速) ではフラクタル格子乱流場の方が正方格子乱流場よりも小さい。一方、 $X/U_0 \geq 0.75$ では正方格子乱流場とフラクタル格子乱流場において同程度の値をとる。
6. スカラー混合層中心軸上のスカラー散逸は正方格子乱流場よりもフラクタル格子乱流場の方が小さい。
7. 乱流混合の時間スケールは、どちらの乱流場においても格子下流直後で急速に増加し、その後一定値をとる傾向となり、十分下流($X/U_0 > 0.5$)ではフラクタル格子乱流場の方が3倍程度大きい。
8. スカラー混合界面のフラクタル次元は、フラクタル格子乱流中のスカラー拡散場の方が正方格子乱流中のスカラー拡散場よりも高い値をとる。また、正方格子乱流場ではフラクタル次元が下流方向にほぼ一定値をとるのに対して、フラクタル格子乱流場では下流方向に増加する。また、固定検査面内の混合界面長さもフラクタル格子乱流場の方が長くなる。

本水槽実験結果は、フラクタル格子を利用した混合器等の工業機器を設計するうえで有用な情報を与えるものであると期待される。

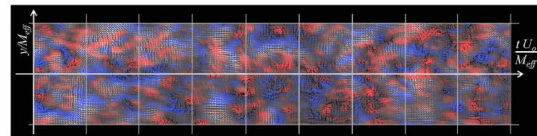


図3: PIVによるフラクタル格子乱流場における瞬間速度ベクトルと渦度場の計測例。詳細は発表論文15を参照のこと。

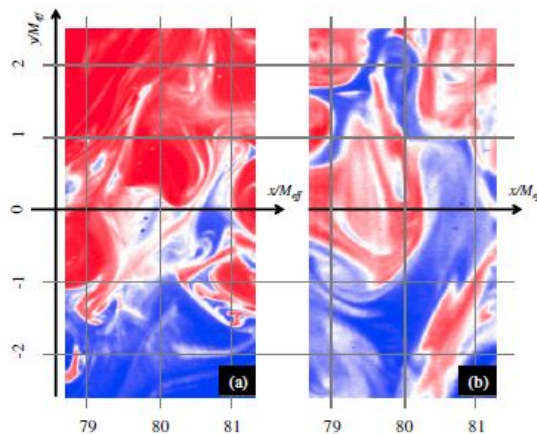


図4: 正方格子乱流場(左)とフラクタル格子乱流場(右)におけるスカラー混合の様子(瞬間濃度分布)。詳細は発表論文15を参照のこと。

(3) 直接数値計算(DNS)結果

図 1 に示した二種類の格子に対して DNS を実行した。得られた主な結果は以下のとおりである。

1. 平均速度分布および主流方向速度変動強度 $\langle u^2 \rangle$ の輸送方程式の乱流生成項を用いて、平均流の一様性とそれに及ぼす格子パラメータの影響を調べた。その結果、最大格子幅の最小格子幅に対する比 t_r を増加させるよりも、閉塞率 σ を増加させるほうが平均流の一様性を高めるうえで効果的であることがわかった。従来の実験では σ の影響については調べられていないことから、本結果はフラクタル格子乱流の一様性の向上を図る場合の指針として重要である。
2. u_{rms}/v_{rms} および $\langle u^2 \rangle$ の輸送方程式の圧力歪み相関項を用いて、速度変動の一様性等方性と格子パラメータの関係を調べた結果、 t_r を増加させるよりも、 σ を増加させるほうが、変動の一様性等方性を高めるうえで効果的であることがわかった。
3. 積分長さスケールについて、 $\sigma = 0.36$, $t_r = 8.5$ の場合は主流方向に概ね一定となるのに対し、 $\sigma = 0.36$, $t_r = 15.0$ および $\sigma = 0.44$, $t_r = 8.5$ の場合は下流でも一定とならず概ね単調に増加した。このことから、フラクタル格子乱流の性質の一つとされる積分長さスケールの主流方向不変性は σ および t_r の値と密接に関係していることが示唆された。一方、テイラー長については、 σ および t_r の値によらず主流方向に単調増加した。
4. $\partial u / \partial x$ および $\partial v / \partial y$ の歪度および尖度を評価した結果、歪度および尖度とも $\partial u / \partial x$ と $\partial v / \partial y$ で値が異なり、 $\partial v / \partial y$ は $\partial u / \partial x$ よりも間欠性が強いことがわかった。また、 σ を増加させると、間欠性が低下した。この傾向は $\partial u / \partial x$ よりも $\partial v / \partial y$ において顕著であった。
5. 実験でも示されたように、フラクタル格子乱流中では正方格子乱流中に比べてスカラー混合が著しく促進された。鉛直方向のスカラーフラックスもフラクタル格子乱流中で大きな値をとった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 21 件)

1. 星野晃一, 長田孝二, 酒井康彦, 鈴木博貴, 鶴飼涼太, 寺島修, 伊藤靖仁, 正方格子およびフラクタル格子乱流場における高シュミット数スカラー混合に関する実験的研究, 日本機械学会論文集(B編), 査読有, 79 巻, 799 号, 2013, 304-316.
2. 鈴木浩之, 長田孝二, 酒井康彦, 鈴木博貴, 寺島修, 稲葉拓人, フラクタル格子乱流の空間発展に関する風洞実験(第 1 報) I 型熱線プローブを用いた乱流場の基本特性の

計測), 日本機械学会論文集(B編), 査読有, 79 巻, 798 号, 2013, 115-125.

3. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 輝度分布補間による PIV 計測精度向上(擬似粒子画像によるフーリエ補間の導入効果の解析), 日本機械学会論文集(B編), 査読有, 78 巻, 790 号, 2012, 1248-1259.
4. 北村拓也, 長田孝二, 酒井康彦, 佐宗章弘, 寺島修, 齋藤大輝, 原崎辰耶, 格子乱流のエネルギー減衰域における不変量について, 日本機械学会論文集(B編), 査読有, 78 巻, 795 号, 2012, 1928-1941.
5. H. Suzuki, K. Nagata and Y. Sakai, Quantitative Visualization of High-Schmidt-Number Turbulent Mixing in Grid Turbulence by means of PLIF, Journal of Visualization, 査読有, Vol. 15, No. 2, 2012, 109-117.
6. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki and O. Terashima, Experimental Study on the Spatial Development of Multiscale/Fractal-Generated Turbulence, Proc. of the 8th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, 査読有, 2012, No. GSF29-003.
7. 酒井康彦, 長田孝二, 久保貴, 市野修平, 堀内健二, 熱線を用いた CO₂ 軸対称噴流拡散場の二成分瞬間速度・瞬間濃度の同時計測, 日本機械学会論文集(B編), 査読有, 77 巻, 775 号, 2011, 486-495.
8. 長田孝二, 酒井康彦, 山口卓哉, 寺島修, CO₂ 軸対称噴流拡散場におよぼす周囲流の乱れの影響, 日本機械学会論文集(B編), 査読有, 77 巻, 775 号, 2011, 496-506.
9. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 早瀬敏幸, 格子乱流の影響を受けた乱流境界層の統計的特性(直接数値計算による空間発展解析), 日本機械学会論文集(B編), 査読有, 77 巻, 775 号, 2011, 737-748.
10. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and T. Hayase, DNS on a Spatially Developing Grid Turbulence, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, Vol. 38, 2011, 032043.
11. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and T. Hayase, DNS on a Spatially Developing Grid Turbulence, Proc. of the 13th European Turbulence Conference, 査読有, 2011, No. 092-ETC13.
12. H. Suzuki, K. Nagata and Y. Sakai, Quantitative Visualization of High-Schmidt-Number Scalar Mixing in Grid Turbulence, Proc. of the 11th Asian Symposium on Visualization, 査読有, 2011, No. ASV11-04-05.
13. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and R. Ukai, An Experimental Study on Turbulent Mixing of High-Schmidt-Number Scalar in Grid Turbulence by means of PIV and PLIF, Proc. of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, 査読有, 2011, No. AJK2011-21013.
14. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and T. Hayase, Direct Numerical Simulation of Turbulent Mixing

- in Regular and Fractal Grid Turbulence, *Physica Scripta*, 査読有, Vol. T142, 2010, 014065.
15. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and R. Ukai, High Schmidt Number Scalar Transfer in Regular and Fractal Grid Turbulence, *Physica Scripta*, 査読有, Vol. T142, 2010, 014069.
 16. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and T. Hayase, Direct Numerical Simulation of Regular and Fractal-Grid Turbulence Using the Immersed Boundary Method and Fully Conservative Higher-Order Finite-Difference Schemes, *International Review of Physics*, 査読有, Vol. 4, No. 2, 2010, 83-90.
 17. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 鶴飼涼太, 高 Sc 数スカラー乱流輸送に対する PLIF 計測の補正処理法(励起光強度の時空間変化および量子収率の時間変化の非計測補正), *日本機械学会論文集(B 編)*, 査読有, 76 巻, 770 号, 2010, 1543-1551.
 18. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 早瀬敏幸, フラクタル格子により生成されるマルチスケール誘起乱流の構造とスカラー拡散機構(第 2 報, DNS による一様等方性と間欠性に及ぼす格子パラメータの影響の検討), *日本機械学会論文集(B 編)*, 査読有, 76 巻, 772 号, 2010, 2024-2031.
 19. K. Nagata, Y. Sakai, T. Yamaguchi, S. Ichino and T. Kubo, Measurements of Axisymmetric CO₂ Jets Issuing into Regular and Fractal Grid Turbulence, *Proc. of the 3rd International Conference on Jets, Wakes, and Separated Flows*, 査読有, 2010, CD-ROM.
 20. R. Ukai, H. Suzuki, K. Nagata and Y. Sakai, Measurements of High-Schmidt-Number Scalar Mixing Layers by Means of High-Accuracy PIV and PLIF, *Proc. of the 14th International Symposium on Flow Visualization*, 査読有, 2010, No. ISFV12-7C-3.
 21. K. Nagata H. Suzuki, Y. Sakai and T. Hayase, DNS of Grid Turbulence with Scalar Transfer Using the Immersed Boundary Method and Fully Conservative Higher-Order Finite-Difference Schemes, *Proc. of International Workshop on Process Intensification 2010*, 査読無, 2010, 85-86.

〔学会発表〕(計 34 件)

1. T. Inaba, K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, O. Terashima and Y. Ito, Experimental Evaluation of Turbulence Kinetic Energy Balance in Fractal-Generated Turbulence, *The 4th JUACEP Workshop on Engineering and Science*, 2013 年 03 月 21 日, University of Michigan, USA.
2. T. Watanabe, K. Hoshino, K. Nagata, Y. Ito, Y. Sakai and O. Terashima, Stereo PIV Measurement of Grid Turbulence in Liquid Phase, *Ibid.*
3. S. Nakano, K. Nagata, Y. Sakai, O. Terashima, Y. Ito and K. Hiruta, Effect of Grid-Generated Turbulence on Properties of Turbulent Boundary Layer, *Ibid.*
4. 星野晃一, 長田孝二, 伊藤靖仁, 酒井康彦, 鈴木博貴, 寺島修, PIV-PLIF 計測による正方格子およびフラクタル格子乱流中のスカラー混合に関する研究, *日本機械学会東海支部第 62 期総会・講演会*, 2013 年 03 月 19 日, 三重大学.
5. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 長谷川豊, 牛島達夫, 輝度分布補間による PIV 解析精度向上の試み, 第 90 期日本機械学会流体工学部門講演会, 2012 年 11 月 18 日, 同志社大学.
6. K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki and O. Terashima, Direct Numerical Simulation of Fractal/Multiscale-Generated Turbulence, 9th China-Japan Workshop on Turbulent Flows, 2012 年 10 月 17 日, Xian, China.
7. Y. Sakai, K. Nagata, H. Suzuki, K. Hoshino, O. Terashima and Y. Ito, Experimental Study on Scalar Mixing Layer in Regular/Fractal Grid Turbulence, *Ibid.*, 2012 年 10 月 16 日, Xian, China.
8. Y. Sakai, K. Nagata, H. Suzuki, K. Hoshino and O. Terashima, Development of Shear Free Scalar Mixing Layer in Regular/Fractal Grid Turbulence, 2nd UK-Japan Bilateral and 1st Ercofac Workshop on Turbulent Flows Generated/Designed in Multiscale/Fractal Ways: Fundamentals and Applications, 2012 年 3 月 27 日, Imperial College London, UK.
9. K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, H. Suzuki and O. Terashima, Wind Tunnel Experiments on the Spatial Development of Fractal-Generated Turbulence, *Ibid.*, 2012 年 3 月 26 日, Imperial College London, UK.
10. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai, T. Hayase and Y. Hasegawa, Numerical Simulation on Turbulence Generated by the Multiscale Grid, *Ibid.*, 2012 年 3 月 26 日, Imperial College London, UK.
11. O. Terashima, Y. Sakai and K. Nagata, Simultaneous Measurement of the Velocity and Pressure Near the Turbulent/Non-Turbulent Interface, *Ibid.*, 2012 年 3 月 26 日, Imperial College London, UK.
12. 鈴木浩之, 長田孝二, 酒井康彦, 寺島修, フラクタル格子乱流の空間発展と減衰特性に関する研究, *日本機械学会東海支部第 61 期総会・講演会*, 2012 年 3 月 15 日, 名古屋工業大学.
13. K. Hoshino, Y. Sakai, K. Nagata, H. Suzuki and Y. Ito, Measurements of High-Schmidt-Number Scalar Mixing Layers in Grid Turbulence by means of PIV and PLIF, *The 1st JUACEP Workshop on Mechanical Engineering and Science*, 2012 年 3 月 12 日, University of Michigan, USA.
14. 北村拓也, 長田孝二, 酒井康彦, 佐宗章弘, 寺島修, 齋籐大輝, 原崎辰耶, 格子乱流のエネルギー減衰域における不変量について, 第 61 回理論応用力学会, 2012 年 3 月 9 日, 東京大学生産研究所.
15. 北村拓也, 長田孝二, 酒井康彦, 佐宗章弘, 寺島修, 齋籐大輝, 原崎辰耶, 格子乱流のエネルギー減衰特性に関する研究, 第 9 回日本流体力学会中部支部講演会, 2011 年 11 月 19 日, 豊橋科学技術大学.

16. T. Kitamura, K. Nagata, Y. Sakai, A. Sasoh, O. Terashima, H. Saito and T. Harasaki, Experimental Study on Decaying Characteristic of Grid Turbulence, CCS Symposium Autumn 2011, 2011 年 11 月 2 日, 名古屋大学.
 17. K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, H. Suzuki, K. Hoshino and O. Terashima, Turbulence and Mixing in Fractal-Generated Turbulence, Imperial College London Seminar, 2011 年 10 月 6 日, Imperial College London, UK.
 18. 鈴木浩之, 長田孝二, 酒井康彦, 寺島修, 鈴木博貴, フラクタル格子乱流の空間発展の可視化に関する研究, 可視化情報学会全国講演会 2011, 2011 年 9 月 26 日, 富山国際会議場.
 19. 星野晃一, 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 格子乱流による高 Sc 数スカラー混合の PLIF 計測, 同上.
 20. 鈴木浩之, 長田孝二, 酒井康彦, 寺島修, 鈴木博貴, 小型風洞内でのフラクタル格子乱流の空間発展に関する研究, 日本流体力学会年会 2011, 2011 年 9 月 7 日, 首都大学東京.
 21. 星野晃一, 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 正方格子およびフラクタル格子乱流による高 Sc 数スカラー混合の計測, 同上.
 22. H. Suzuki, Y. Sakai and K. Nagata, PLIF Analysis on the Fractal Dimension of High-Schmidt Number Scalar Mixing in Fractal-Generated Turbulence, International Conference "Turbulent Mixing and Beyond", 2011 年 8 月 24 日, Trieste, Italy.
 23. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 高 Sc 数スカラー乱流混合実験における補正処理手法の開発と格子乱流中のスカラー拡散場の解析, 第 48 回日本伝熱シンポジウム, 2011 年 6 月 3 日, 岡山コンベンションセンター.
 24. Y. Sakai, K. Nagata, H. Suzuki, and R. Ukai, Mixing of High-Schmidt Number Scalar in Regular/Fractal Grid Turbulence: Experiments by PIV and PLIF, 1st UK-Japan Bilateral Workshop Turbulent Flows Generated/Designed in Multiscale/Fractal Ways: Fundamentals and Application, 2011 年 3 月 29 日, Imperial College London, UK.
 25. H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and T. Hayase, DNS on Spatially Developing Fractal Generated Turbulence with Heat Transfer, Ibid, 2011 年 3 月 29 日, Imperial College London, UK.
 26. K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki and H. Suzuki, Reexamination of Fractal-Generated Turbulence Using a Smaller Wind Tunnel, Ibid, 2011 年 3 月 28 日, Imperial College London, UK.
 27. 鶴飼涼太, 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 時系列 PIV および PLIF による高 Sc 数スカラー乱流輸送の実験的研究, 日本機械学会東海支部第 60 期総会・講演会, 2011 年 3 月 14 日, 豊橋技術科学大学.
 28. 長田孝二, 鈴木博貴, 酒井康彦, 早瀬敏幸, フラクタル格子によるマルチスケール誘起乱流の特性とスカラー輸送現象, 第 60 回理論応用力学講演会, 2011 年 3 月 10 日, 東京工業大学.
 29. 鶴飼涼太, 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 寺島修, マルチスケール格子乱流による高シュミット数スカラー混合層の基本特性, 第 88 期日本機械学会流体工学部門講演会, 2010 年 10 月 31 日, 山形大学.
 30. 鶴飼涼太, 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, PIV による格子乱流の乱流構造の解析, 可視化情報学会全国講演会 2010, 2010 年 10 月 7 日, 霧島市国分シビックセンター.
 31. 鶴飼涼太, 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 格子乱流による高シュミット数スカラー拡散場の計測, 日本流体力学会年会 2010, 2010 年 9 月 9 日, 北海道大学.
 32. 鶴飼涼太, 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 高精度 PLIF による高 Sc 数スカラー乱流混合の実験解析, 日本機械学会 2010 年度年次大会, 2010 年 9 月 7 日, 名古屋工業大学.
 33. K. Nagata, H. Suzuki, Y. Sakai, R. Ukai and T. Yamaguchi, Experimental Study on Scalar Transfer in Regular and Fractal Grid Turbulence: Scalar Mixing Layer and Axisymmetric CO₂ Jet, 6th IMS Turbulence Workshop, 2010 年 7 月 15 日, Imperial College London, UK.
 34. 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 早瀬敏幸, 拡散項の高次離散化によるスカラー乱流輸送の有限差分法 DNS の精度向上, 日本計算工学会 第 15 回計算工学講演会, 2010 年 5 月 26 日, 九州大学.
- 〔図書〕(計 2 件)
1. K. Nagata, H. Suzuki, Y. Sakai and T. Hayase, Numerical Simulations, Applications, Examples and Theory (Chapter 3), ed. Angermann, L., INTECH, 2010.
 2. 長田孝二, 鈴木博貴, 酒井康彦, フラクタル形状物体の背後にはどのような流れができるのか?, 未来材料(特集: Best Shot 写真でひもとく未来材料), (株) エヌ・ティー・エス, 2010.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
長田 孝二 (NAGATA Kouji)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 50274501
- (2) 研究分担者
久保 貴 (KUBO Takashi)
名城大学・理工学部・准教授
研究者番号: 20372534
- 酒井 康彦 (SAKAI Yasuhiko)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 20162274
- (3) 連携研究者
寺島 修 (TERASHIMA Osamu)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 50570751