

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 18 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289030

研究課題名(和文) マルチスケール/フラクタル励起乱流の構造解明とその革新的工学機器への応用

研究課題名(英文) Structure of multiscale/fractal generated turbulence and its application to innovative engineering devices

研究代表者

長田 孝二 (Nagata, Koji)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50274501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、風洞/水槽実験、および数値計算(直接数値計算(DNS)およびラージ・エディ・シミュレーション(LES))によりマルチスケール/フラクタル励起乱流の発展および減衰過程を詳細に調査した。また、工学機器への応用として燃焼器のバーナを模擬した同軸噴流/旋回流共存乱流に関する実験装置を設計製作し、その流動特性を明らかにした。実験の結果、大スケール格子に小スケール格子を不均一に配置した場合に乱流の非平衡性領域が広がることが明らかになった。DNSでは単一格子により生成される乱流場に対して速度こう配テンソルの不変量や渦度の生成と散逸に関する詳細な解析を行い、格子乱流の発達の様子を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Development and decay of multiscale/fractal generated turbulence are investigated in detail by means of wind tunnel/water channel experiments and numerical simulations (direct numerical simulation (DNS) and large-eddy simulation (LES)). In addition, experimental apparatus for investigating co-axial jet and swirling flow is designed and manufactured and its turbulence characteristics are measured. The experimental results show that the combination of large square grid and inhomogeneously arranged smaller grids produces an elongated non-equilibrium region. The DNS is conducted for the turbulence generated by the single-square-grid. The invariants of the velocity gradient tensor and enstrophy production and dissipation are analyzed in detail and the development of grid turbulence are clarified.

研究分野：流体力学

キーワード：流体力学 乱流 スカラー 混合

1. 研究開始当初の背景

フラクタル形状を有する格子によって生成される乱流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、乱流の長さスケール、スペクトル、粘性消散率等の種々の乱流統計量が従来の乱流理論に合致しない、すなわち“非コロモゴロフ乱流”であることが、2007年の英国 Imperial College London の研究グループによる報告 (Hurst and Vassilicos, Dcalings and decay of fractal-generated turbulence, Physics of fluids, 19, 035103, 2007) 以降、徐々に明らかになってきていた。しかし、格子乱流がどのように発達し、減衰するのか、また、非コロモゴロフ乱流の特性がどのような場合に、あるいはなぜ発生するのか等の詳細は明らかにされていなかった。また、フラクタル乱流の工学的応用も期待されていた。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、風洞実験、水槽実験、三次元直接数値計算 (DNS)、ラージ・エディ・シミュレーション (LES) により、フラクタル格子乱流の特性解明とその中でスケラーの拡散機構を明らかにすることを目的とした。さらに、工学的応用の1つとして、スタティックミキサーとしての混合性能の評価、燃焼器のバーナを模擬した同軸軸対称噴流/旋回流共存場の特性解明のための実験装置の設計製作および計測を行った。

3. 研究の方法

(1) 風洞実験

風洞テストセクション入口部に乱流格子を設置し、乱流を発生させた。計測には熱線流速計を用いた。形状の異なる種々の格子 (図1) を用いて実験を行った。

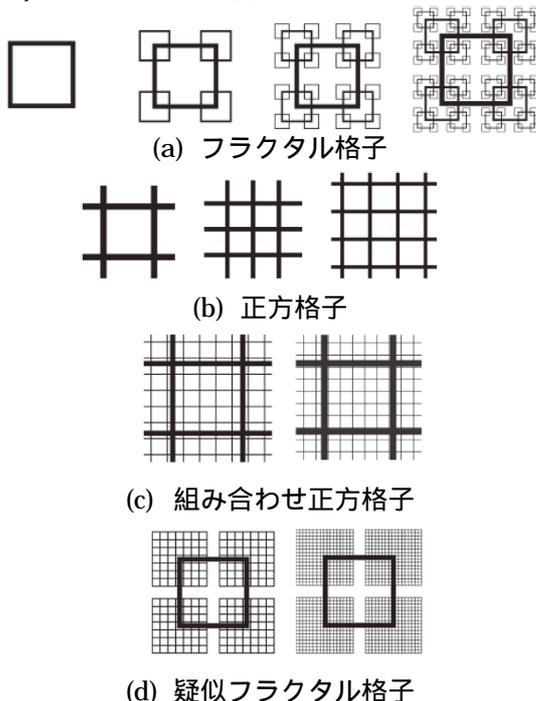


図1: 風洞実験で用いた格子

(2) 水槽実験

水槽テストセクション入口部に乱流格子 (正方, フラクタル) を設置し、乱流を発生させた。テストセクション入口部までは上下が二層にわかれており、上層から水道水を、下層から蛍光染料を含んだ水道水を供給することで、初期濃度分布がステップ状のスカラー混合層を形成させた。速度計測には時系列粒子画像流速計 (PIV) を、濃度計測には平面レーザー誘起蛍光法 (PLIF) を用いて計測を行った。

(3) DNS

支配方程式であるナビエ・ストークス式と連続の式、スカラー輸送方程式を有限差分法に基づき離散化し部分段階法を用いて解を求めた。空間差分には高次精度中心差分あるいはコンパクト差分を、時間積分には多段階ルンゲクッタ法を用いた。通常の正方格子、フラクタル格子、単一正方格子について計算を行った。

(4) LES

サブグリッドスケールモデル使用による結果の不確定性を排除するため、数値フィルターにより高波数のエネルギーを散逸させる陰的 LES を用いた。三段のフラクタル格子について計算を行い、実験結果と比較した。

4. 研究成果

紙面の都合上、ここでは得られた主な結果だけを列挙する。詳細は発表論文を参照されたい。

1. (風洞実験結果) フラクタル格子 (図1(a)) に関して、段数が増えるほど乱流の非平衡領域が拡大する。
2. (風洞実験結果) 組み合わせ正方格子 (図1(c)) においては小さいスケールでのエネルギーインプットは大スケールの渦生成を抑制し、乱流の非平衡性を弱める。一方、フラクタル格子では大スケールの渦生成が強く、下流まで乱流の非平衡性が維持される。
3. (風洞実験結果) 大スケールの格子に小スケールの格子を不均一に配置した場合 (図1(d)) にフラクタル格子乱流と類似した特性を有する乱流を生成する。
4. (風洞実験結果) 減衰域における散逸定数を特徴づけるグローバルレイノルズ数は従来格子間隔に基づくレイノルズ数 Re_M とされてきたが、最大格子の厚さに基づくレイノルズ数 Re_0 を用いるのが妥当である (図2)。
5. (水槽実験) フラクタル格子乱流中の乱流スカラーフラックスは正方格子乱流のそれよりも大きく、スカラー拡散が促進されている。
6. (水槽実験) 正方格子によるスカラー拡散においては、平均濃度の半値幅の広がりには格子棒の幅でスケールされる。
7. (水槽実験) Space-Scale Unfolding (SSU) 機構は大小異なる太さの格子棒の空間的な配置とスカラー混合位置に依

- 存して異なる．
8. (DNS) 格子から十分下流の領域における乱流の特性は主に最大の四角格子により決定される．フラクタル格子を構成する第二段よりも小さな格子は格子近傍の運動量の効率的な拡散に寄与する．
 9. (DNS) 格子近傍の非平衡領域では，流れ場が二次元のシート状構造から三次元構造に遷移している．
 10. (DNS) 正方格子乱流の場合も初期の減衰域において非平衡領域が現れた．この非平衡領域は格子レイノルズ数の大きさに依存して変化する．
 11. (DNS) 格子乱流の減衰域では散逸またはエンストロフィが高い領域で速度ベクトル渦度ベクトルは沿うように現れる．一方，格子乱流の発達域ではそのような現象は見られない．
 12. (DNS) 乱流が発達過程にある格子直後の領域でも二次の構造関数は $2/3$ 乗則を示す．
 13. (DNS) 正方格子乱流は Saffman 型の乱流場であり，低波数スペクトルは波数の二乗に比例した．
 14. (LES) 格子乱流近傍の非平衡領域に対しても陰的 LES は実験結果とよく一致し，解析手段として有効であることが示された (図 3)．LES により，DNS では解析できない高レイノルズ数格子乱流場の解析が可能である．
 15. (工学的応用) 微粉炭燃焼器のバーナに着目し，噴流と旋回流の複合場を計算できる DNS コードを開発した．また，同様の場に対応する実験装置を設計製作し，乱流場とスカラー拡散場の解析 (固有値解析とモード解析) を行った．

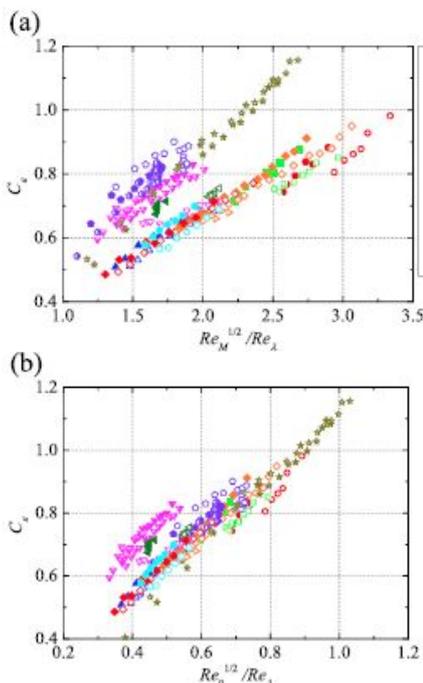


図 2: 散逸定数と (a) $Re_M^{1/2}/Re_\lambda$ (b) $Re_0^{1/2}/Re_\lambda$ の関係

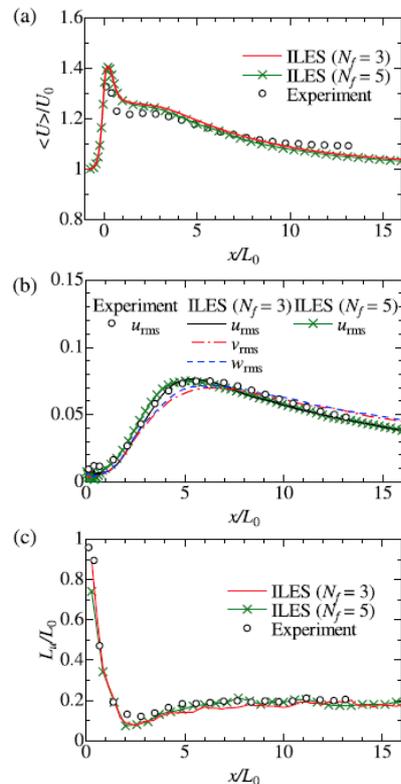


図 3: LES と風洞実験結果の比較 (三段フラクタル格子) (a) 平均流速, (b) 速度変動 rms 値, (c) 積分スケール．図中の N_f は数値フィルタを作用させる時間ステップ数の区切り．

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

K. Nagata, T. Saiki, Y. Sakai, Y. Ito and K. Iwano, Effects of Grid Geometry on Non-Equilibrium Dissipation in Grid Turbulence, Physics of Fluids, 査読有, Vol. 29, 2017, 015102

DOI: 10.1063/1.4973416

Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai, Y. Ito and T. Hayase, Enstrophy Production and Dissipation in Developing Grid-Generated Turbulence, Physics of Fluids, 査読有, Vol. 28, 2016, 025113

DOI: 10.1063/1.4941855

Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai, Y. Ito and T. Hayase, Spatial Evolution of the Helical Behavior and the $2/3$ Power-Law in Single-Square-Grid Generated Turbulence, Fluid Dynamics Research, 査読有, Vol. 48, 2016, 021404

DOI: 10.1088/0169-5983/48/2/021404

Y. Ito, T. Watanabe, K. Nagata and Y. Sakai, Turbulent Mixing of a Passive Scalar in Grid Turbulence, Physica Scripta, 査読有, Vol. 91, 2016, 074002

DOI: 10.1088/0031-8949/91/7/074002

T. Watanabe, Y. Sakai, K. Nagata, Y. Ito and T. Hayase, Implicit Large Eddy Simulation of a Scalar Mixing Layer in Fractal Grid Turbulence, Physica

Scripta, 査読有, Vol. 91, 2016, 074007
DOI: 10.1088/0031-8949/91/7/074007
Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai, Y. Ito and T. Hayase, On the Evolution of the Invariants of the Velocity Gradient Tensor in Single-Square-Grid-Generated Turbulence, Physics of Fluids, 査読有, Vol. 27, 2015, 075107
DOI: 10.1063/1.4926472
Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, Y. Ito, O. Terashima and T. Hayase, Development of Turbulence behind the Single Square Grid, Physics of Fluids, 査読有, Vol. 26, 2014, 045102
DOI:10.1063/1.4870167
Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, Y. Ito, O. Terashima and T. Hayase, Relevance of Turbulence behind the Single Square Grid to Turbulence Generated by Regular- and Multiscale-Grids, Physics of Fluids, 査読有, Vol. 26, 2014, 075105
DOI: 10.1063/1.4890746
Y. Ito, Y. Sakai and K. Nagata, Promotion of Chemical Reaction by a Grid in a Shear Mixing Layer, Chemical Engineering and Technology, 査読有, Vol. 37, 2014, 2103-2108
DOI: 10.1002/ceat.201300835
S. Xia, Y. Ito, K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, O. Terashima and T. Hayase, DNS Study on the Development of Boundary Layer with Heat Transfer under the Effects of External and Internal Disturbances, Journal of Fluid Science and Technology, 査読有, Vol.9, 2014, 13-00259
DOI:10.1299/jfst.2014jfst0005
鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 他 2 名, PLIF 法計測による統計分布に及ぼす時間変化/変動ノイズの影響予測 (量子収率の時間変化・励起光強度・カメラゲイン変動の影響予測式と実験的検証), 日本機械学会論文集(B 編), 査読有, 80 巻 813 号, 2014, 14-00053
DOI:10.1299/transjsme.2014fe0114
K. Nagata, Y. Sakai, T. Inaba, H. Suzuki, O. Terashima and H. Suzuki, Turbulence Structure and Turbulence Kinetic Energy Transport in Multiscale/Fractal-Generated Turbulence, Physics of Fluids, 査読有, Vol. 25, 2013, 065102
DOI:10.1063/1.4811402
H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai, 他 3 名, Direct Numerical Simulation of Fractal-Generated Turbulence, Fluid Dynamics Research, 査読有, Vol. 45, 2013, 061409
DOI:10.1088/0169-5983/45/6/061409

H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai and Y. Hasegawa, Fractal Analysis of Turbulent Mixing in Fractal-Generated Turbulence by Planar Laser-Induced Fluorescence, Physica Scripta, 査読有, Vol. T155, 2013, 014062
DOI:10.1088/0031-8949/2013/T155/014062
H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai, 他 2 名, An Attempt to Improve Accuracy of Higher-Order Statistics and Spectra in Direct Numerical Simulation of Incompressible Wall Turbulence by Using the Compact Schemes for Viscous Terms, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 査読有, Vol. 73, 2013, 509-522
DOI: 10.1002/flid.3810
稲葉拓人, 長田孝二, 酒井康彦, 鈴木浩之, 寺島修, 鈴木博貴, フラクタル格子乱流の空間発展に関する風洞実験 (第 2 報, I 型及び X 型熱線プローブを用いた乱流場の乱れエネルギー輸送の計測), 日本機械学会論文集(B 編), 査読有, 79 巻 804 号, 2013, 1476-1488
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaib/79/804/79_1476/_article/-char/ja/
鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 他 3 名, 直接数値計算による格子乱流の解析 (不変量および Rotta モデルについて), 日本機械学会論文集(B 編), 査読有, 79 巻 807 号, 2013, 2363-2374
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaib/79/807/79_2363/_article/-char/ja/

[学会発表] (計 33 件)

前川祐太, 伊藤靖仁, 酒井康彦, 岩野耕治, 長田孝二, 丹野賢二, 旋回流を伴う軸対象噴流の流れ場とスカラー場の周波数構造解析, 日本機械学会東海支部第 66 期総会・講演会, 2017 年 3 月 14 日~3 月 15 日, 静岡大学 (静岡県・浜松市)
Y. Sakai, K. Nagata, Y. Ito, 他 4 名, Investigation of Non-equilibrium Turbulence and Its Application to Flow Control (Cases of Mixing Layer, Grid Turbulence and Jet), The 16th International Symposium on Advanced Fluid Information, 2016 年 10 月 10 日~10 月 12 日, 仙台国際センター (宮城県・仙台市)
P. Baj, Y. Ito, K. Nagata, Y. Sakai, 他 2 名, Mixing in a Turbulent Multiscale Flow, The 24th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 2016 年 8 月 21 日~8 月 26 日, Montreal (Canada)
前川祐太, 伊藤靖仁, 酒井康彦, 岩野耕治, 長田孝二, 丹野賢二, 軸対称噴流と旋回流が共存する流れ場の動的構造解析, 第 44 回 可視化情報シンポジウム, 2016 年 7

月 19 日 ~ 7 月 20 日, 工学院大学(東京都)
祭貴哲平, 長田孝二, 酒井康彦, 伊藤靖
仁, 岩野耕治, フラクタル, 正方, マルチ
スケール格子による乱流場の空間 発展と
減衰特性に関する研究, 日本機械学会東海
支部第 65 期総会・講演会, 2016 年 3 月 17
日 ~ 3 月 18 日, 愛知工業大学(愛知県・
豊田市)

Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai and Y. Ito,
Small-Scale Behavior in Developing
Grid-Generated Turbulence,
International Workshop Turbulence
Cascades, 2015 年 12 月 2 日 ~ 12 月 4 日,
Lille (France)

Y. Sakai, K. Nagata, Y. Ito, 他 4 名,
Investigation of Non-equilibrium
Turbulence and Its Application to Flow
Control, The 15th International
Symposium on Advanced Fluid
Information, 2015 年 10 月 27 日 ~ 10 月
29 日, 仙台国際センター(宮城県・仙台市)
Y. Ito, T. Watanabe, K. Nagata, Y. Sakai
and K. Iwano, Scalar Diffusion in the
Near Field of Grid-Generated
Turbulence, Pre-seminar of the
International Conference on Jets, Wakes,
and Separated Flows 2015, 2015 年 6 月
15 日 ~ 6 月 18 日, Stockholm (Sweden)

栗田浩平, 伊藤靖仁, 李銘淩, 酒井康彦,
長田孝二, 岩野耕治, 丹野賢二, 前川祐太,
軸対称噴流と旋回流の共存場に関する実
験研究, 第 52 回伝熱シンポジウム, 2015
年 6 月 3 日 ~ 6 月 5 日, 福岡国際会議場
(福岡県・福岡市)

渡邊知幸, 伊藤靖仁, 長田孝二, 酒井康彦,
岩野耕治, PIV-PLIF 計測による格子乱流
中のスカラ混合・拡散に関する研究, 日本
機械学会東海支部 第 64 期総会・講演会,
2015 年 3 月 13 日 ~ 3 月 14 日, 中部大学
(愛知県・春日井市)

李銘淩, 伊藤靖仁, 長田孝二, 酒井康彦,
丹野賢二, 岩野耕治, Numerical Study on
Coaxial Round Jets with Swirl, 日本機
械学会東海支部 第 64 期総会・講演会,
2015 年 3 月 13 日 ~ 3 月 14 日, 中部大学
(愛知県・春日井市)

李銘淩, 伊藤靖仁, 長田孝二, 酒井康彦,
丹野賢二, 旋回流と噴流の共存流場の直接
数値計算, 第 28 回数値流体力学シンポジ
ウム, 2014 年 12 月 9 日 ~ 12 月 11 日, タ
ワーホール船堀(東京都)

Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai, Y. Ito and
T. Hayase, The Helical Behavior of the
Single-Square Grid-Generated
Turbulence, The 11th International
Conference on Flow Dynamics, 2014 年
10 月 8 日 ~ 10 月 10 日, 仙台国際センタ
ー(宮城県・仙台市)

K. Nagata, T. Saiki, Y. Sakai and Y. Ito,
On Non-Equilibrium Region in Grid

Turbulence, One-Day Workshop:
Turbulence Out of Classical
Equilibrium in Nature and Engineering
and Multiscale-Generated Flows, 2014
年 9 月 21 日, Bertinoro (Italy)

K. Nagata, Y. Zhou, T. Watanabe, Y. Sakai
and Y. Ito, Direct and Large
Eddy Simulations of Grid turbulence,
JSPS Supported Meeting on Interscale
Transfers and Flow Topology in
Equilibrium and Nonequilibrium
Turbulence, 2014 年 9 月 15 日 ~ 9 月 16
日, Sheffield (UK)

祭貴哲平, 長田孝二, 酒井康彦, 伊藤靖
仁, フラクタル格子のマルチスケールの
要素による後流乱流の空間発展および減
衰特性, 2014 年度日本機械学会年次大会,
2014 年 9 月 7 日 ~ 9 月 10 日, 東京電機
大学(東京都)

Y. Ito, T. Watanabe, K. Nagata and Y. Sakai,
Turbulent Mixing of a Passive
Scalar in Grid Turbulence,
International Conference “Turbulent
Mixing and Beyond”, 2014 年 8 月 4 日 ~
8 月 9 日, Trieste (Italy)

T. Watanabe, Y. Sakai, K. Nagata, Y. Ito
and T. Hayase, Implicit Large Eddy
Simulation of a Scalar Mixing Layer in
Fractal-Grid Generated Turbulence,
International Conference “Turbulent
Mixing and Beyond”, 2014 年 8 月 4 日 ~
8 月 9 日, Trieste (Italy)

渡邊知幸, 伊藤靖仁, 長田孝二, 酒井康
彦, 乱流格子近傍での乱流混合に関する
実験研究, 第 42 回可視化情報シンポジウ
ム, 2014 年 7 月 21 日 ~ 7 月 22 日, 工学
院大学(東京都)

T. Watanabe, Y. Ito, K. Nagata and Y. Sakai,
Scalar Mixing near
Turbulence-Generating Grids, The 16th
International Symposium on Flow
Visualization, 2014 年 6 月 24 日 ~ 6 月 27
日, 沖縄コンベンションセンター(沖縄
県・宜野湾市)

⑳ K. Nagata, Y. Sakai, T. Saiki, T. Inaba
and Y. Ito, The Role of Fractal
Iterations on the Development of
Multiscale/Fractal Generated
Turbulence, The 3rd EPSRC-
ERCOTAC Workshop on Turbulent
Flows Generated/Designed in
Multiscale/Fractal Ways:
Fundamentals and Application, 2014 年
3 月 27 日 ~ 3 月 28 日, London (UK)

㉑ Y. Sakai, Y. Zhou, K. Nagata, and Y. Ito,
On the Evolution of Turbulent Flow
Generated by Single/Fractal-Square
Grid, The 3rd EPSRC-ERCOTAC
Workshop on Turbulent Flows
Generated/Designed in Multiscale/

- Fractal Ways: Fundamentals and Application, 2014年3月27日~3月28日, London (UK)
- ②3 Y. Ito, T. Watanabe, K. Nagata, Y. Sakai and K. Hoshino, Scalar Mixing in Fractal/Regular Grid Turbulences with Different Configurations, The 3rd EPSRC- ERCOFTAC Workshop on Turbulent Flows Generated/Designed in Multiscale/ Fractal Ways: Fundamentals and Application, 2014年3月27日~3月28日, London (UK)
- ②4 K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, Y. Ito, O. Terashima, 他3名, Applications for Fractal Grids-Mixers, MULTISOLVE Training Module 1: Activities, 2013年9月23日~9月26日, London (UK)
- ②5 K. Nagata, Y. Sakai, T. Inaba, T. Yamaguchi and O. Terashima, Influence of Mainstream Turbulence on Axisymmetric Jet Diffusion Field, The 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, 2013年9月17日~9月20日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)
- ②6 T. Inaba, K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, O. Terashima and H. Suzuki, Production and Transport of Turbulent Kinetic Energy in Fractal-Generated Turbulence, The 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, 2013年9月17日~9月20日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)
- ②7 H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai, 他3名, DNS study on Small-Scale Characteristics of Fractal-Generated Turbulence, The 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, 2013年9月17日~9月20日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)
- ②8 T. Watanabe, K. Hoshino, Y. Ito, K. Nagata, Y. Sakai and O. Terashima, Stereo PIV Measurement of Regular and Fractal Grid Turbulence in Liquid, The 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, 2013年9月17日~9月20日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)
- ②9 Y. Zhou, K. Nagata, Y. Sakai, H. Suzuki, Y. Ito, O. Terashima and T. Hayase, Direct Numerical Simulation of Single-Square Grid-Generated Turbulence, The 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, 2013年9月17日~9月20日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)
- ③0 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 他3名, 乱流生成方法により格子乱流の基本特性を変える試み, 日本流体力学会 年会 2013, 2013年9月12日~9月14日, 東

京農工大学(東京都)

- ③1 H. Suzuki, K. Nagata, Y. Sakai, 他3名, DNS on Multiscale-Generated Grid Turbulence Using Classical Grid, The 8th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, 2013年8月28日~8月30日, Poitiers (France)
- ③2 鈴木博貴, 長谷川豊, 牛島達夫, 長田孝二, 酒井康彦, 格子乱流の渦構造に関する時系列 PIV 解析, 第41回可視化情報シンポジウム, 2013年7月16日~7月17日, 工学院大学(東京都)
- ③3 H. Suzuki, T. Ushijima, Y. Hasegawa, K. Nagata and Y. Sakai, An Attempt to Improve Accuracy of PIV Using an Interpolation Method, The 12th Asian Symposium on Visualization, 2013年5月19日~5月23日, Taiwan (R.O.C.)

〔図書〕(計2件)

H. Suzuki, S. Mochizuki, Y. Sakai and K. Nagata, Analysis and Application of Decaying Turbulence with Initial Fractal Geometry, INTECH, 2017 (印刷中)

Y. Sakai, K. Nagata, H. Suzuki, Y. Ito, Mixing and Diffusion in Regular/ Fractal Grid Turbulence: in Fractal Flow Design: How to Design Bespoke Turbulence and Why, Springer, 2016, 17-73
DOI: 10.1007/978-3-319-33310-6_2

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長田 孝二 (NAGATA, Koji)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 50274501

(2) 研究分担者

鈴木 博貴 (SUZUKI Hiroki)
山口大学・自然科学研究科・助教
研究者番号: 10626873

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

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

(3) 連携研究者

丹野賢二 (TANNO Kenji)
一般財団法人電力中央研究所・研究員
研究者番号: 60462884

伊藤 靖仁 (ITO, Yasumasa)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 40346078