

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06606

研究課題名(和文) 新しい定電流型熱線流速計の開発と超音速乱流混合場の解明と制御に関する研究

研究課題名(英文) Development of New Constant Current Hot-Wire Anemometer and Studies on Clarification and Control of Supersonic Turbulent Mixing

研究代表者

坂上 昇史 (Sakaue, Shoji)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70244655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、熱線流速計による超音速乱流混合場の定量計測法の実現を目的とし、熱線の瞬間熱損失を計測可能な新しい定電流型熱線回路と熱特性の異なる2本の熱線を用いた2線式プローブを設計・製作し、超音速流中での質量流束と濃度の校正法を確立し、熱線による超音速乱流混合計測システムを構築した。また、縦渦を導入した超音速乱流混合場を製作した熱線流速計、定量化シュリーレン法、3次元PIVにより計測し、縦渦の循環が大きいほど質量流束変動が大きく縦渦の崩壊が早いこと、縦渦崩壊に対する循環と縦渦内の速度欠損の相関関係を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to develop the hot-wire anemometer system for simultaneous measurement of concentration and mass flux fluctuations in supersonic turbulent mixing field. We designed and constructed a new type of constant current hot-wire anemometer, two-wire probe using different heat loss characteristics, and a calibration system for concentration and mass flux of supersonic air-Helium mixture. In addition, we conducted the measurements for supersonic turbulent mixing field introducing streamwise vortices by using the hot-wire anemometer, the quantitative schlieren optical system, and the three-dimensional PIV. The results showed that the larger the circulation of streamwise vortices, the mass flux fluctuations become large and the breakdown of streamwise vortices become fast. It was also clarified the correlation between the breakdown of streamwise vortices and the ratio of the circulation and the velocity defect in the streamwise vortices.

研究分野：航空宇宙流体力学

キーワード：航空宇宙流体力学 超音速乱流 超音速遷移 熱線流速計 乱流境界層

1. 研究開始当初の背景

超音速境界層の乱流遷移や縦渦を用いた超音速乱流混合場など、超音速の乱流現象が絡む流れの解明には、超音速流中の高周波数変動を定量的に捉えることが必要不可欠である。熱線流速計は、点計測であることから変動の構造に関する情報を得ることは容易ではないが、時間・空間分解能から超音速流中での変動の強度やスペクトルなどの定量的情報を得ることに適している。特に、超音速乱流混合場の計測に熱線流速計を用いた場合、乱流強度(速度変動)だけでなく混合状態(濃度変動)の瞬時信号が同時に得られ、混合場の定量的な把握が可能になることからその意義は極めて大きい。しかし、従来の熱線回路を超音速混合計測に用いる場合には様々な制約があり、熱線による混合場の計測は亜音速流の場合に限られている。

流れ場中に置かれた熱線の熱損失 HLR は、一般に強制対流熱伝達によるものが支配的であり、質量流束 ρu の関数として次のように表される。

$$HLR = A(c) + B(c) (\rho u)^n \quad (1)$$

A, B は、校正によって定める熱線固有の係数であり、混合流の場合は濃度 c の関数となる。熱特性の異なる2本の熱線を近似的に同一点の計測ができるように近接させて作ったプローブを用いる場合、それぞれの熱線の熱損失 HLR が得られれば、(1)式の形の2つの式を連立させて解くことで質量流束と濃度が同時に得られる。定常流の場合、熱線が発生するジュール熱(エネルギー散逸 PDR)と熱損失 HLR が釣り合う熱平衡状態が保たれるので、 PDR を計測すれば HLR が得られる。しかし、非定常流中では、熱線の熱慣性により熱平衡が熱線に蓄えられる熱量の時間変化に支配され、熱損失の瞬時値として次式が得られる。

$$HLR = \frac{I_w^2 R_w}{R_w - R_a} - \frac{K}{R_w - R_a} \frac{dR_w}{dt} \quad (2)$$

ここで I_w は熱線加熱電流、 R_w は熱線抵抗値、 R_a は非加熱状態での抵抗値、 K は熱線の熱容量因子で熱線固有の係数であり、右辺第1項はエネルギー散逸 PDR 、第2項は熱慣性を表す。超音速乱流混合場の熱線計測では、300kHz 以上の変動場において(2)式で表される熱線の瞬間熱損失を計測する必要がある。

非定常流中でも熱線温度(熱線抵抗)を一定に保つ定温度型熱線回路を用いる場合、熱慣性の影響を無視することができ、熱線の PDR を計測すれば HLR の瞬時値が得られるので、乱流混合計測に定温度型熱線回路を用いることは非常に有効であり、実際に亜音速乱流混合場の計測に用いられている。しかし、微小振幅変動に対して定義される定温度型熱線回路の周波数応答帯域は 100kHz 程度であり、大振幅変動の場合の応答帯域は微小振幅の場合よりも大きく低下する⁽¹⁾。また、定温度型熱線回路は、プローブのリード線のごくわずかなインダクタンスが影響して回路が発

振するという難点があり、微小振幅攪乱に限定しても 100kHz 以上の周波数域を測ることは困難である⁽²⁾。

研究代表者らが研究開発を行ってきた定電圧型熱線回路^(3,4)は、熱線の熱慣性を補正する位相補償回路を付加することで 500kHz 程度の応答周波数帯域を実現しており、超音速乱流混合場の計測に有望である。しかし、位相補償回路を付加したことで熱線抵抗と回路出力の関係が非線形となり、大振幅変動の場合には低次の統計量である時間平均値にも変動成分が絡んで誤差の原因となる、回路出力から熱線の瞬間熱損失の算出がやっかいであるという欠点がある。

引用文献

- (1) Freymuth, P., Rev. Sci. Instr. 40 (1969), 258-262.
- (2) 西岡, 熱線流速計, 流れの計測 1, No.1 (1985) ~ 9, No.12 (1991).
- (3) Sarma, G. R., IEEE, 0-7803-1229-5/93, (1993) 731-736.
- (4) 坂上, 五十川, 新井, 西岡, 超音速境界層遷移の熱線計測, 日本流体力学会年会 2007 (2007).

2. 研究の目的

本研究は、非定常流中の熱線の瞬間熱損失を計測できる新しい定電流型熱線回路を用いた超音速乱流混合場の混合定量計測法を開発・確立し、超音速縦渦の不安定性や崩壊特性、混合状態をこの熱線流速計で定量計測することで超音速乱流混合場を支配する混合遷移機構を解明して混合促進制御の鍵となる知見を得ることを主な目的とする。

3. 研究の方法

(1) 超音速乱流混合計測に適した熱線計測システムの開発

新しい定電流型熱線回路の開発

超音速乱流混合場の熱線計測において必須の、300kHz 以上の変動場において熱線の瞬間熱損失を計測するための熱線回路の基本構成を図1に示す⁽⁵⁾。研究代表者らは、この熱線回路を亜音速乱流境界層の計測に適用し、計測精度と有効性を確認している⁽⁶⁾。

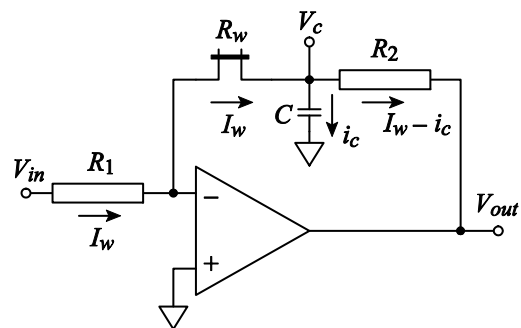


図1 定電流型熱線回路。

図1の熱線回路の動作は以下ようになる。 V_{in} は熱線の加熱度を設定する入力直流電圧であり、設定後は一定値に維持される。したがって、この回路は熱線の加熱電流 I_w が一定に保たれる定電流回路の一種である。また、熱線の熱慣性の影響を従来型の定電流型熱線回路や先述の定電圧型熱線回路のように位相補償回路によって補償するのではなく、熱線抵抗の時間微分を直接計測し熱損失の瞬時値を得るという特徴を持つ。具体的には、入力電圧 V_{in} を設定し V_c と V_{out} を計測することで、熱線抵抗の瞬時値と時間微分が、

$$R_w = -\frac{V_c}{V_{in}} R_1 \quad (3)$$

$$\frac{dR_w}{dt} = \frac{R_1}{CR_2} \left(\frac{V_c - V_{out}}{V_{in}} - \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (4)$$

より得られ、熱損失の瞬時値が次式より得られる。

$$HLR = \frac{\frac{V_{in} V_c}{R_1^2} + \frac{K}{CR_2} \left(\frac{V_c - V_{out}}{V_{in}} - \frac{R_2}{R_1} \right)}{\frac{V_c}{V_{in}} + \frac{R_a}{R_1}} \quad (5)$$

ここで、熱容量因子 K は、予め計測時と同じ加熱条件で熱線の時定数 M を計測すれば、

$$K = \frac{I_w^2 R_a}{R_w - R_a} M \quad (6)$$

の関係より評価できる⁽⁷⁾。(5)式は、その導出過程で線形化を全く行っていないことから、この定電流型熱線回路は大振幅の非線形変動に適用可能であり、また、回路素子の設定により高周波数帯域化することができる。すなわち、この定電流型熱線回路は、非定常流中で熱慣性の影響を補正する位相補償回路を必要としない定温度型熱線回路の特徴と定電圧型熱線回路に匹敵する高周波数帯域を併せ持ち、非線形大振幅変動の計測に適用可能であることから、超音速混合場の混合定量計測法として精度的に最も期待される手法である。

この熱線回路は、図1の CR_2 で表される回路時定数の設定により高周波数帯域化することが可能である。また、回路時定数を大きくすると熱線抵抗値の時間微分を評価するための回路出力 V_{out} に対するノイズの影響を低減することができ、特に微小振幅変動時の計測精度を改善できる。しかし、回路時定数と応答周波数帯域はトレードオフの関係にあり、回路時定数を大きくするには、コンデンサ容量 C と固定抵抗 R_2 を大きくすればよいが、 R_2 の値は V_{out} の直流成分がオペアンプの出力電圧を超えない値に制限される。一方、容量の大きなコンデンサは一般に高周波数域での特性が悪いため応答周波数帯域が低下する。

そこで、できるだけ高い応答周波数が得られる回路設定を明らかにし、後述する熱特性の異なる熱線を用いた場合でもそれぞれの熱

線に対して所望の特性が得られる熱線回路を設計・製作する。

熱損失特性の異なる熱線を用いた2線式プローブの製作

熱線による混合計測の原理は、熱特性(1)式の A, B の異なる2本の熱線で同一点(と見なせる位置)を計測することで質量流束と濃度の瞬時値を得るものである。使用する熱線の熱特性の差が小さいと、計測時のノイズや誤差等により濃度の算出ができなくなる可能性があり、できるだけ熱特性の異なる熱線を用いることが混合計測実現の鍵となる。

そこで、サイズや素材の異なる種々の金属線(タンゲステン線や白金線)の熱特性を計測し、乱流混合計測に適したペア選定のための知見を得るとともに、それらを使用した2線式熱線プローブを製作し、各熱線が捉える流れの同一性について検証する。

混合定量計測のための熱線の校正法の確立
熱線計測では、予め既知の流れ場により熱線を校正する必要がある。密度変化が無視できない超音速流中では、熱線を質量流束に対して校正する必要がある。また、混合計測では濃度に対しても校正する必要がある。組成が既知の混合気体を有効に使用するため、流量を抑えたとともに計測時と同様の気流状態を再現できる小型の校正用風洞を製作し、熱線の熱損失を計測する。

定電流型熱線回路を用いた熱線計測では、濃度と質量流束に対して熱線を校正するだけでなく、時定数計測から熱線固有の熱容量因子を評価する必要がある。熱容量因子は、熱線抵抗が温度の一次式で表されかつ熱線の比熱が温度に依存しない場合にはプローブ固有の定数と見なされる⁽⁸⁾。しかし、申請者らは、種々の動作条件で計測した熱線時定数から(5)式により熱容量因子を求めた結果、亜音速流域での熱容量因子は加熱度一定の条件では流速に依らずほぼ一定であり、流速一定の条件では加熱度の二次式で近似できることを確認している⁽⁷⁾。本研究では、超音速流の場合も亜音速流と同様の近似が可能であるか確認するため、種々のマッハ数の超音速流中で熱線時定数を計測し熱容量因子を評価する。

引用文献

- (5) 坂上, 西岡, 定電流熱線の瞬間熱損失計測法, 日本流体力学会年会 2014 (2014).
- (6) 坂上, 西岡, 定電流熱線の瞬間熱損失に基づく乱流計測, 日本流体力学会年会 2014 (2014).
- (7) 坂上, 西岡, 熱線時定数の計測, 日本流体力学会年会 2012 (2012).
- (8) Perry, A. E., Hot-wire anemometry, CLARENDON PRESS OXFORD (1982).

(2) 縦渦を用いた超音速乱流混合場における混合遷移機構の解明と制御

超音速混合場における縦渦の役割は、その大規模な渦運動により主流の空気を縦渦内に取り込み、その崩壊に伴って生じる小スケールの乱流渦により異種流体間の接触面積を飛躍的に増加させる乱流混合状態（混合遷移：Mixing Transition）に導くことである。

超音速縦渦の不安定性や崩壊特性に関する知識を得るため、超音速風洞中に設置した縦渦導入デバイスによって種々のマッハ数の超音速流中に縦渦を形成し、スクラムジェットエンジンの燃料である水素を模擬したヘリウムと超音速空気流の混合過程について、定電流型熱線流速計を用いた濃度変動計測を行うとともに、定量化シュリーレン法と3次元PIVにより計測し、超音速縦渦の崩壊過程を調べ、混合促進の鍵である混合遷移（Mixing Transition）の機構を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 新しい定電流型熱線回路の開発

研究代表者らが提案する新しい定電流型熱線回路について、回路素子の設定による高周波数帯域化と信号増幅による高ダイナミックレンジ化した回路を設計・製作した。

この熱線回路を超音速乱流境界層の質量流束分布の熱線計測に適用した結果、平均分布についてはピトー管計測結果とよい一致が、変動実効値分布についても定温度型熱線による計測結果とよく一致することを確認し、提案する瞬間熱損失が計測可能な定電流型熱線の超音速域での有用性を示した。さらに、超音速域では熱線の加熱度が低いと熱線の温度感度に起因する温度変動の影響が顕著となることから、出来るだけ高い加熱度で計測を行う必要があることを明らかにした。

(2) 熱損失特性の異なる熱線を用いた2線式プローブの製作

混合計測においては、熱損失特性の異なる2本の熱線で同一点（と見なせる位置）を計測できる2線式プローブが必須である。通常用いる熱線（直径5ミクロンのタングステン線）に対してできるだけ熱損失特性の異なる熱線を選定するため、材質や直径の異なる熱線の熱損失特性を計測した。その結果、熱線の熱損失特性は、材質・寸法等によって変化し、特に直径によって容易に変化させることが可能であることを明らかにした。また、直径が太いほど流速変化に対する熱損失の変化量は大きい、加熱度によるばらつきが大きくなること、より多くの加熱電流が必要となるため、流速条件によっては所望の加熱状態に設定することが困難な場合があること、変動に対する熱線の応答が遅れることなどの問題点を確認した。

次に、選定した熱特性の異なる熱線を使用して2線式プローブを製作し、亜音速・超音速乱流境界層を計測して、各熱線が捉える流れの同一性について検証した。平均分布・変動実効値分布については、それぞれの熱線の

結果がよく一致することを確認した。また、各熱線が捉える瞬間の流れについては、スケールの大きな亜音速乱流境界層の場合はほぼ同じであることが確認できた。しかし、境界層が薄い超音速乱流境界層の場合、流れのスケールに対する熱線間隔の影響を強く受けて各熱線が捉える流れの相関が低下するという問題点を確認し、より熱線間隔の狭いプローブを作成した。

(3) 混合定量計測のための熱線校正システムの構築

密度変化が無視できない超音速流中での熱線計測では、熱線を質量流束に対して校正する必要がある。超音速流の質量流束を変える方法として、貯気槽圧を変える方法、層流・乱流境界層等の質量流束分布利用する方法が用いられるが、前者は低質量流束の流れを得にくいという欠点があり、後者は必要な質量流束範囲を得るためには十分なスケールを有する境界層を用いる必要がある。校正に必要な時間や流量が多い、位置の計測精度の影響が大きいといった問題がある。また、混合計測では濃度に対して校正する必要がある。そこで、校正に必要な流量を低減し簡便に質量流束を変更できる熱線の校正法として、マッハ数の異なる複数の小型ノズルを用いる校正システムを設計・製作し、まず、超音速乱流境界層の計測に適用した。その結果、乱流境界層の平均質量流束分布を用いる方法に比べ、変動の少ない気流を得ることができるとともに、より広い範囲の質量流束に対する校正をより少ない時間・流量で行うことが可能であり、校正法としての有効性を確認した。

定電流型熱線回路を用いた熱線計測では、濃度と質量流束に対して熱線を校正するだけでなく、時定数計測から熱線固有の熱容量因子を評価する必要がある。また、熱線を定電流動作させた場合、流速によって熱線の加熱度が変化し、気流中で所望の加熱度になるように調整する必要があるが、通風時の加熱状態で風洞を停止すると熱線が焼き切れてしまうため、加熱状態を適切に変化させなければならない。通風時間が限られる超音速風洞で2線式熱線プローブを用いて同時計測する場合、その調整を効率化する必要がある。アナログスイッチとデジタル可変抵抗（DPM）を利用した電圧調整回路を熱線回路に組み込み、マイクロコンピュータを用いて制御する自動計測システムを設計・製作した。その結果、熱線時定数の計測を大きく効率化することができたが、使用したDPMの出力制約から電圧調整を完全に自動化することはできなかった。そこで、デジタルアナログコンバータ（DAC）を利用して電圧を直接変更できるように設計変更を行い、時定数計測だけでなく、校正や実際の熱線計測を効率化することに成功した。また、この熱線校正システムを用いて種々のマッハ数において計測した熱線時定数から熱容量因子を求め、熱容量因子がマッ

八数に依らず熱線加熱度の関数として近似できることを確認した。

さらに、組成が既知の混合気を校正用ノズルに導入するシステムを構築し、濃度に対する校正を行った。混合気としてヘリウムを使用した場合、空気流と同等の質量流束の超音速流れを作ると、流速が非常に高くなるため、特に細い熱線が破損するという問題が生じたため、濃度に対する校正結果を得ることができなかった。

(4) 縦渦を用いた超音速乱流混合場における混合遷移機構の解明

超音速風洞中に設置した縦渦導入デバイスにより形成された超音速縦渦による乱流混合場を、熱線流速計、定量化シュリーレン法、3次元 PIV により計測し、超音速縦渦の崩壊過程を調べた。なお、前述のように、濃度に対する校正結果が得られなかったため、計測はすべて空気流について行った。

縦渦は、循環 Γ と動粘性係数 ν に基づく渦レイノルズ数 Γ/ν が 10^4 以上の領域で $-5/3$ 乗スペクトルが現れ、循環 Γ が大きいほど変動実効値が大きく、また崩壊が早いことが確認できた。また、循環 Γ が大きくても、循環と縦渦内の速度欠損の比が小さいと縦渦の崩壊が遅く、逆に循環 Γ が小さくても、この比が大きいほど縦渦の崩壊が早く混合に適した流れ場を生み出すことがわかった。

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6件)

S. Sakaue, S. Shichiri, Y. Tsukazaki, K. Hashimoto, T. Arai, Breakdown of Counter-Rotating Supersonic Streamwise Vortices Generated by Swept Ramp Injector, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 査読有, Aerospace Technology, 16[2], 2018, 172-176.

西岡通男, 乱流境界層の発達過程で速度分布が対数型に漸近するプロセスの観察吟味, 日本流体力学会誌「ながれ」, 査読有, vol.35, 2016, 443-451.

Y. Tsukazaki, S. Sakaue, T. Arai, Mach Number Effect on Breakdown of Streamwise Vortices in Supersonic Flow, Asian Joint Conference on Propulsion and Power, AJCPP2016-009, 査読有, 2016.

西岡通男, 乱流境界層の摩擦速度を推定する新しい方法, 日本流体力学会誌「ながれ」, 査読有, vol.34, 2015, 397-402.

T. Arai, S. Sugano, Y. Tsukazaki, S. Sakaue, Interaction between Supersonic Cavity flow and Streamwise vortices for Mixing Enhancement, AIAA 2015-3613, 査読有, 2015.

T. Arai, S. Maruyama, Y. Tsukazaki, S.

Sakaue, The Effect of Swept Angle of Ramp Injector on Supersonic Mixing using Streamwise Vortices, 30th International Symposium on Space Technology and Science, 査読有, 2015-a-62, 2015.

[学会発表](計26件)

橋本和真, 坂上昇史, 新井隆景, LIF 法と PIV 法を用いた超音速縦渦混合場の濃度場と速度場の相関, 第 54 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会, 2017/11/11, 京都大学 桂キャンパス(京都府京都市).

七里真悟, 坂上昇史, 新井隆景, 超音速縦渦の形成・発達・崩壊について, 日本流体力学会 年会 2017, 2017/8/30-9/1, 東京理科大学 葛飾キャンパス(東京都葛飾区).

本田勲文, 塚崎大和, 坂上昇史, 新井隆景, 超音速縦渦の崩壊に及ぼす循環と速度欠損の影響, 日本流体力学会 年会, 2017, 2017/8/30-9/1, 東京理科大学 葛飾キャンパス(東京都葛飾区).

大井雅恭, 坂上昇史, 新井隆景, 西岡通男, 超音速流中の熱線に関する質量流束校正の簡便な方法, 日本流体力学会 年会 2017, 2017/8/30-9/1, 東京理科大学 葛飾キャンパス(東京都葛飾区).

西岡通男, 円管乱流の速度分布が対数型に漸近するプロセスの観察吟味, 日本流体力学会 年会 2017, 2017/8/30-9/1, 東京理科大学 葛飾キャンパス(東京都葛飾区).

D. Tanikawa, T. Hashimoto, S. Sakaue, T. Arai, T. Miyachi, A Study on Turbulent Transition of Unsteady Boundary Layer Induced by Weak-Compression Wave, 31st International Symposium on Shock Waves, 2017/7/9-7/14, 名古屋大学 東山キャンパス(愛知県名古屋市).

S. Shichiri, Y. Tsukazaki, K. Hashimoto, S. Sakaue, T. Arai, Breakdown of Counter-Rotating Supersonic Streamwise Vortices Generated by Swept Ramp Injector, 31th International Symposium on Space Technology and Science, 2017/6/3-6/9, ひめぎんホール(愛媛県松山市).

七里真悟, 塚崎大和, 坂上昇史, 新井隆景, Swept Ramp により作られる超音速縦渦混合場の観察, 第 53 回 日本航空宇宙学会中部・関西支部合同秋期大会, 2016/11/26, 名城大学 ナゴヤドーム前キャンパス(愛知県名古屋市).

谷川大貴, 坂上昇史, 新井隆景, 宮地徳蔵, 弱い圧縮波に誘起される非定常境界層の乱流遷移の観察, 第 53 回 日本航空宇宙学会中部・関西支部合同秋期大会, 2016/11/26, 名城大学 ナゴヤドーム前キャンパス(愛知県名古屋市).

大井雅恭, 津風呂俊輔, 坂上昇史, 新井隆景, 西岡通男, 乱流計測における定電流熱線の熱特性変化の影響, 日本流体力学会 年会 2016, 2016/9/26-9/28, 名古屋工業大学

御器所キャンパス(愛知県名古屋市).
七里真悟, 菅野創介, 新井隆景, 坂上昇史, 縦渦と超音速キャビティ振動の干渉場に関する研究, 日本流体力学会 年会 2016, 2016/9/26-9/28, 名古屋工業大学 御器所キャンパス(愛知県名古屋市).

塚崎大和, 丸山駿太郎, 比江島俊彦, 坂上昇史, 新井隆景, 超音速流中に導入した縦渦の崩壊特性について, 日本流体力学会 年会 2016, 2016/9/26-9/28, 名古屋工業大学 御器所キャンパス(愛知県名古屋市).

橋本和真, 坂上昇史, 新井隆景, LIF 法を用いた超音速縦渦混合場の可視化, 日本流体力学会 年会 2016, 2016/9/26-9/28, 名古屋工業大学 御器所キャンパス(愛知県名古屋市).

谷川大貴, 高島耕司, 坂上昇史, 新井隆景, 宮地徳蔵, 弱い圧縮波に誘起される非定常境界層の乱流遷移に関する研究, 日本流体力学会 年会 2016, 2016/9/26-9/28, 名古屋工業大学 御器所キャンパス(愛知県名古屋市).

西岡通男, 乱流境界層の発達過程で速度分布が対数型に漸近するプロセスの観察吟味, 日本流体力学会 年会 2016, 2016/9/26-9/28, 名古屋工業大学 御器所キャンパス(愛知県名古屋市).

Y. Tsukazaki, S. Sakaue, T. Arai, Mach Number Effect on Breakdown of Streamwise Vortices in Supersonic Flow, Asian Joint Conference on Propulsion and Power, 2016/3/16-3/19, 高松.

津風呂俊輔, 坂上昇史, 新井隆景, 定電流熱線の瞬間熱損失に基づく超音速乱流計測, 第 52 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会, 2015/11/7, 大阪府立大学 i-サイトなんば(大阪府大阪市).

丸山駿太郎, 坂上昇史, 新井隆景, Swept Ramp に誘起される超音速縦渦の崩壊, 第 52 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会, 2015/11/7, 大阪府立大学 i-サイトなんば(大阪府大阪市).

野村亮介, 坂上昇史, 新井隆景, 超音速流による液体の微粒化と縦渦の干渉, 第 52 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会, 2015/11/7, 大阪府立大学 i-サイトなんば(大阪府大阪市).

高島耕司, 谷川大貴, 坂上昇史, 新井隆景, 宮地徳蔵, 弱い圧縮波に誘起される非定常流れの乱流促進に関する研究, 第 52 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会, 2015/11/7, 大阪府立大学 i-サイトなんば(大阪府大阪市).

⑳ 坂上昇史, 津風呂俊輔, 新井隆景, 西岡通男, 定電流形熱線の瞬間熱損失に基づく超音速乱流境界層の計測, 日本流体力学会 年会 2015, 2015/9/26-9/28, 東京工業大学 大岡山キャンパス(東京都目黒区).

㉑ 塚崎大和, 坂上昇史, 新井隆景, 超音速流中に導入した縦渦の崩壊とマッハ数依存

性, 日本流体力学会 年会 2015, 2015/9/26-9/28, 東京工業大学 大岡山キャンパス(東京都目黒区).

㉒ 谷川大貴, 高島耕司, 坂上昇史, 新井隆景, 宮地徳蔵, 弱い圧縮波が誘起する境界層の乱流遷移に関する研究, 日本流体力学会 年会 2015, 2015/9/26-9/28, 東京工業大学 大岡山キャンパス(東京都目黒区).

㉓ 西岡通男, 乱流境界層の摩擦速度を推定する新しい方法, 日本流体力学会 年会 2015, 2015/9/26-9/28, 東京工業大学 大岡山キャンパス(東京都目黒区).

㉔ T. Arai, S. Sugano, Y. Tsukazaki, S. Sakaue, Interaction between Supersonic Cavity flow and Streamwise vortices for Mixing Enhancement, 20th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference (Hypersonics 2015), 2015/7/6-7/9, Glasgow, Scotland.

㉕ T. Arai, S. Maruyama, Y. Tsukazaki, S. Sakaue, The Effect of Swept Angle of Ramp Injector on Supersonic Mixing using Streamwise Vortices, Joint Conference: 30th International Symposium on Space Technology and Science, 34th International Electric Propulsion Conference and 6th Nano-Satellite Symposium, 2015/7/4-7/10, Kobe.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂上 昇史 (SAKAUE, Shoji)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70244655

(2) 研究分担者

新井 隆景 (ARAI, Takakage)
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 10175645

西岡 通男 (NISHIOKA, Michio)
大阪府立大学・大学院工学研究科・客員研究員
研究者番号: 60081444

(3) 連携研究者

()
研究者番号:

(4) 研究協力者

()