

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420144

研究課題名(和文)複合外力を受ける壁温条件急変系の熱伝達機構の解明と高熱伝達条件の探求に関する研究

研究課題名(英文) Study for mechanism of turbulent heat transfer in boundary layer with suddenly changing thermal wall and superposition of external forces and exploring high efficient of heat transfer condition in it

研究代表者

服部 博文(Hattori, Hirofumi)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・技術職員

研究者番号：30467352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、2つの外力が重畳し、かつ壁面熱的境界条件が変化する壁面乱流場における熱伝達機構と高熱伝達条件を解明かつ探究するために、様々な乱流熱伝達場における直接数値シミュレーション(DNS)を実行した。また、これらの現象を予測する乱流モデルを再構築するために、乱流温度境界層におけるスカラー線形性の立証と、レイノルズ平均モデルシミュレーション(RANS)、大規模渦シミュレーション(LES)で用いられる様々な乱流モデルを本研究で得られたDNSデータより評価し、その問題点を探った。注目する成果として、わずかな外力バランスの変化で乱流熱伝達場へ大きな変化があることを発見したことがあげられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to explore and reveal mechanism of turbulent heat transfer in boundary layer with suddenly changing thermal wall and superposition of two external forces and exploring high efficient of heat transfer condition, the direct numerical simulations of various turbulent heat transfer are carried out. Also, in order to reconstruct turbulence model which can reproduce the above mentioned phenomena, we attest to the scalar linearity in a turbulent thermal boundary layer, various turbulence models which are employed in RANS and LES are evaluated using DNS database we obtained, and we explore problems of turbulence model using evaluation results. As the notable achievement, it is found that mechanism of turbulent heat transfer is remarkably changed with a variation of slight two external forces' balance.

研究分野：伝熱工学，乱流工学，計算力学

キーワード：熱伝達 乱流 境界層 複合外力 直接数値シミュレーション 乱流モデル 数値計算 予測

1. 研究開始当初の背景

乱流境界層熱伝達における壁面熱的条件は、壁温一定、壁面熱流束一定そして断熱壁があり、これらは任意に設定可能である。そこで発達する温度境界層は、熱的境界条件の他に、速度境界層やそれに付随する外力に影響され、任意な壁面熱的条件上ではより複雑な現象となる。これらの条件を一つ一つ設定した基礎研究は多く見られたが、これらが複合的に重畳した乱流熱伝達場の知見は多くはなかった。

2. 研究の目的

本研究では、実際の現象で見られるような乱流場に浮力や圧力勾配等の複数の外力を掛け、かつ壁面熱的境界条件を任意に変化させた乱流熱伝達場の乱流素過程を直接数値シミュレーションによって詳細に調査することによって、その熱伝達特性を明らかにする。そして、その知見から、伝熱機器において伝熱性能を向上させる方策を探求する。また、DNS によって得られたデータを用い、大規模渦シミュレーションやレイノルズ平均シミュレーションの乱流モデルを評価、再構築し、工学機器内の乱流熱伝達現象等の予測精度を向上させる。

3. 研究の方法

本研究は「DNS による数値実験」、「現象の検証」、「モデル評価・再構築」、「熱伝達向上への応用」、「総括」で構成し、「DNS による数値実験」に対して、他の内容をフィードバックしながら研究を進めた。特に、「総括」では、研究が円滑に進行するように、全体の進捗状況に応じて研究内容の調整と計画の修正をきめ細かく行い、着実に目標に到達できるように研究を推進した。意外かつ重要な結果が得られた場合には、研究を新たな方向に展開するよう柔軟に研究に取り組んだ。

4. 研究成果

本研究では、2つの外力が重畳し、かつ壁面熱的境界条件が変化する壁面乱流場における熱伝達機構と高熱伝達条件を解明かつ探究するために、(1)逆圧力勾配が作用する安定・中立・不安定温度成層を伴う水平平板上の乱流境界層熱伝達場、(2)壁面熱的境界条件を流路途中で変化した乱流境界層熱伝達場、(3)異なった温度を持つ二つの流路における乱流を一つの流路で混ぜた平行平板間乱流混合温度場、(4)安定・中立・不安定温度成層を伴う水平円管内温度助走区間乱流熱伝達場、(5)安定・中立・不安定温度成層を伴う水平平板上の2次元丘を通過する乱流境界層熱伝達場、(6)安定・中立・不安定温度成層を伴う水平平板上の温度助走区間乱流境界層熱伝達場、(7)安定・中立温度成層を伴う水平平板上の温度助走区間乱流壁面噴流熱伝達場、(8)安定・中立・不安定

温度成層を伴う垂直平板上の温度助走区間乱流境界層熱伝達場、(9)逆圧力勾配と安定・中立温度成層を伴い壁面温度境界条件が変化する水平平板上の乱流境界層熱伝達場といった、様々な乱流熱伝達場における直接数値シミュレーション(DNS)を実行した。また、これらの現象を予測する乱流モデルを再構築するために、乱流温度境界層におけるスカラー線形性の立証と、レイノルズ平均モデルシミュレーション(RANS)、大規模渦シミュレーション(LES)で用いられる様々な乱流モデルを本研究で得られたDNSデータより評価し、現在の乱流モデルでは、これらの現象が精度良く予測することが難しいことを見出した。

注目する成果として、安定・中立・不安定温度成層場に非平衡逆圧力勾配を付加したDNSの結果から、装置実験では得難い詳細な壁面近傍までの乱流熱伝達場基本統計量を取得したことと、図1に示すように、安定温度成層乱流境界層に逆圧力勾配を付加することで低壁面摩擦、高熱伝達条件が得られる場合があることや、わずかな外力バランスの変化で乱流熱伝達場へ大きな変化があることを発見したことがあげられる。

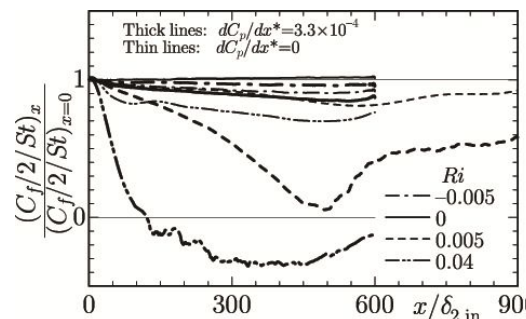


図1 乱流境界層に逆圧力勾配と温度成層が重畳した時の壁面摩擦係数と無次元熱伝達率との比。値が小さいほど、伝熱効率が良い。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

H. Hattori, T. Houra, A. Kono and S. Yoshikawa, "Computational fluid dynamics study for improvement of prediction of various thermally stratified turbulent boundary layers," ASME Journal of Energy Resources Technology, 2017, 139(5): 051209-051209-8.

H. Hattori, A. Kono and T. Houra, "Direct numerical simulation of thermally-stratified turbulent boundary layer subjected to adverse pressure gradient," International Journal of Heat and Fluid Flow, 61A, pp. 213-228, October 2016.

Y. Nagano and H. Hattori, "Improvement of an LRN Two-Equation Turbulence Model reflecting Multi-Time Scales," International

〔学会発表〕(計 28 件)

- (1) H. Hattori, M. Kuroki, T. Houra and M. Tagawa, "DNS of heat transfer phenomena in plane turbulent wall jet with thermal entrance region," Proceedings of the 10th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, July 6-9, 2017, Swissotel, Chicago-IL, USA, 発表決定.
- (2) 村山友規・服部博文・保浦知也・田川正人, 2017, 二次元丘を通過する温度成層乱流境界層の丘高さの影響に関する DNS 研究, 日本機械学会東海支部第 66 期講演会, 3/14-15, 静岡(静岡大)
- (3) 黒木雅太・服部博文・保浦知也・田川正人, 2016, DNS による共存対流下における壁面噴流乱流の研究, 日本伝熱学会東海支部講演会 2016, 12/16, 名古屋(名古屋工業大学)
- (4) 服部博文・大浦一樹・保浦知也・田川正人, 2016, 垂直平板に沿う共存対流乱流境界層温度助走区間の乱流構造解析, 第 30 回数値流体力学シンポジウム, 12/12-12/14, 東京
- (5) H. Hattori, K. Oura, T. Houra and M. Tagawa, "DNS for observation of combined turbulent boundary layer along vertical flat plate having thermal entrance region," Proceedings of the Fourth International Forum on Heat Transfer, Sendai International Center, November 2-4, 2016, poster No. 2038, 4 pages paper in USB.
- (6) 服部博文・黒木雅太・保浦知也・田川正人, 2016, DNS による空間発達する壁面噴流乱流熱伝達場の構造解析, 熱工学コンファレンス 2016, 10/21-22, 松山(愛媛大学)
- (7) 黒木雅太・服部博文・保浦知也・田川正人, 2016, DNS による壁面噴流乱流熱伝達現象に関する研究, 日本流体力学学会年会 2016, 9/26-28, 名古屋(名工大).
- (8) H. Hattori, M. Inagaki, T. Houra and M. Tagawa, "Direct numerical simulation of thermal entrance region in combined turbulent pipe flow," Proceedings of the 11th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements -ETMM11-, Palermo, Italy, September 21-23, 2016, 6 pages in USB.
- (9) 服部博文・大浦一樹・保浦知也・田川正人, 2016, 垂直平板に沿う共存対流乱流境界層温度助走区間の DNS, 日本機械学会 2016 年度年次大会, 9/11-9/14, 九州(九州大学)
- (10) H. Hattori, K. Tsutsui, A. Kono, S. Yoshikawa, T. Houra and M. Tagawa, "Numerical study for improvement of prediction of wind synopsi in various thermally stratified turbulent boundary layers over obstacle," Proceedings of the 2nd International Conference on Next Generation Wind Energy, Lund University, Sweden, August 24-26, 2016, 14 pages in USB.
- (11) 服部博文・筒井研二・保浦知也・田川正人, 2016, 複合時間スケール型温度場 2 方程式モデルによる乱流熱伝達場の予測, 第 53 回日本伝熱シンポジウム, 5/24-5/26, 大阪.
- (12) 筒井研二・服部博文・保浦知也・田川正人, 2016, 乱流モデルによる複雑乱流熱伝達・混合場の予測に関する研究, 日本機械学会東海支部第 65 期講演会, 3/17-18, 愛知(愛工大)
- (13) H. Hattori, S. Yoshikawa, T. Houra and M. Tagawa, "Turbulent Heat Transfer in Thermally-Stratified Boundary Layer over Two-Dimensional Hills by means of DNS," Proceedings of the First Pacific Rim Thermal Engineering Conference, PRTEC, March 13-17, 2016, Hawaii's Big Island, USA, PRTEC- 14881 (5 pages)
- (14) 服部博文・筒井研二・保浦知也・田川正人, 2015, T 型混合流路内乱流温度混合の予測に関する研究, 第 29 回数値流体力学シンポジウム, 12/15-12/17, 福岡(九州大)
- (15) H. Hattori, K. Hotta, T. Houra and M. Tagawa, "DNS of Thermal Entrance Region in Thermally-Stratified Turbulent Boundary Layer," Proceedings of the Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow -ASCHT2015, 23-26 November, 2015, Busan, Korea, Keynote Lecture.
- (16) H. Hattori, A. Hosyaku, K. Kamiya, T. Houra and M. Tagawa, "DNS for Turbulent Heat Transfer in Thermal Entrance Region of Pipe Flow," Proceedings of the Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow -ASCHT2015, 23-26 November, 2015, Busan, Korea, ASCHT15-Tue04-007, 6 pages in USB.
- (17) 服部博文・保浦知也・田川正人, 2015, DNS による種々の乱流温度助走区間熱伝達に関する研究, 熱工学コンファレンス 2015, 10/24-25, 大阪(大阪大学).
- (18) H. Hattori, M. Tanaka, T. Houra and M. Tagawa, DNS studies for various turbulent thermal boundary layers and scalar linearity, Proceedings of the 8th Turbulence, Heat and Mass Transfer, September 15-18, 2015, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 255-258.
- (19) 筒井研二・服部博文・保浦知也・田川正人, 2015, 乱流モデルによる T 型混合流路内乱流温度混合と熱伝達の予測に関する研究, 日本機械学会 2015 年度年次

- 大会, 9/13-9/16, 札幌 (北海道大学)
- (20) 河野周・服部博文・保浦知也・田川正人, 2015, 逆圧力勾配を伴う温度成層境界層の乱流熱伝達特性に関する DNS 研究, 日本機械学会 2015 年度年次大会, 9/13-9/16, 札幌 (北海道大学)
- (21) H. Hattori, A. Kono, T. Houra and M. Tagawa, “DNS of Thermally-Stratified Turbulent Boundary Layers Subjected to Adverse Pressure Gradient,” Proceedings of the 9th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, June 30 - July 3, 2015, The University of Melbourne, Australia, 5D-4, 6 pages in USB.
- (22) 服部博文・河野周・保浦知也・田川正人, 2015, DNS による逆圧力勾配温度成層乱流境界層の乱流構造解析, 第 52 回日本伝熱シンポジウム, 6 月 3 日(水) ~ 6 月 5 日, 福岡.
- (23) 服部博文・宝尺あゆみ・保浦知也・田川正人, 2015, DNS による円管内乱流温度場助走区間の温度場発達に関する研究, 日本機械学会東海支部第 64 期講演会, 3/13-14, 愛知 (中部大)
- (24) 服部博文・河野周・保浦知也・田川正人, 2014, 温度成層と逆圧力勾配が重畳する乱流境界層の DNS, 第 28 回数値流体力学シンポジウム, 12/9-12/ 11, 東京, B06-2.
- (25) 服部博文・岩瀬仁俊・保浦知也・田川正人, 2014, 数値計算による T 型混合路内の乱流温度混合に関する研究, 熱工学コンファレンス 2014, 11/8-9, 東京 (芝浦工大).
- (26) H. Hattori, M. Iwase, T. Houra and M. Tagawa, 2014, “DNS and LES for Turbulent Heat Transfer and Mixing in T-Junction Channel Flow,” Proceeding of 10th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements –ETMM10–, Don Carlos Resort, Marbella, Spain, 17-19 September, 3 pages abstract in proceedings and 6 pages full-paper in CD-ROM.
- (27) 河野周・服部博文・保浦知也・田川正人, 2014, 逆圧力勾配を伴う温度成層乱流境界層の DNS, 日本機械学会 2014 年度年次大会, 9/8-9/10, 東京 (東京電機大).
- (28) 服部博文・河野周・保浦知也・田川正人, 2014, 逆圧力勾配乱流境界層の熱伝達特性に関する DNS 研究, 第 51 回日本伝熱シンポジウム, 5 月 21 日(水) ~ 5 月 23 日, 浜松.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

服部 博文 (HATTORI, Hirofumi)
名古屋工業大学・工学 (系) 研究科 (研究院)・技術職員
研究者番号: 30467352