

課題番号	GR038
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成 25 年度)**

本様式の内容は一般に公表されません

研究課題名	多次元多変量光学計測と超並列 GPU-DNS による高圧乱流燃焼機構の解明と高度応用
研究機関・部局・職名	東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
氏名	店橋 護

1. 当該年度の研究目的

本研究は、多次元多変量光学計測を用いて高圧乱流予混合火炎の局所火炎構造と乱流微細渦構造及び大規模渦構造の関係、さらにそれらの動的特性を明らかにし、高圧乱流燃焼機構を解明する実験的研究と、高圧力条件及び自然由来代替燃料の利用を念頭に置いて乱流予混合火炎の超並列 GPU-DNS を行い、それらの結果から乱流火炎構造及び乱流燃焼特性等の解明と Large Eddy Simulation (LES) のための Subgrid Scale (SGS) 乱流燃焼モデルの構築を行う数値的研究からなる。本年度は高圧力条件下における syngas 及び自然由来代替燃料の乱流燃焼機構を明らかにするために、これらの燃料を対象とした高圧力条件でのマイクロ・ガスタービン燃焼器及び HCCI エンジンの超並列 GPU-DNS を行い、その乱流燃焼特性を明らかにすることに重点を置いて研究を行う。実験的研究では、研究協力者との連携を強化し、石炭改質ガス(syngas)及び自然由来代替燃料等の高圧条件下での燃焼特性を明らかにする。これまでの研究で得られた実験的・数値的研究結果を総合して、高圧乱流燃焼機構を明らかにし、それに基づいて LES の SGS 高圧乱流燃焼モデルを構築すると共に実用燃焼器のフル・シミュレーションを試みる。

2. 研究の実施状況

平成 25 年度は、主に数値的研究によって研究課題を遂行し、研究協力者らによる実験的研究結果と総合することで高圧力条件及び自然由来代替燃料等の利用を念頭に置いた乱流燃焼機構の解明に取り組んだ。高圧力条件の V 型乱流予混合火炎の DNS 結果から、高圧乱流予混合火炎では局所的な乱流特性が平均せん断に強く依存し、局所的な燃焼特性に大きな影響を与えることを明らかにした。研究協力者とともに syngas 燃料の高圧燃焼実験を行い、高圧力条件下での乱流火炎構造の燃料依存性を明らかにした。自然由来代替燃料としてエタノールを用いた HCCI 燃焼の超並列 GPU-DNS を行い着火遅れ特性等を明らかにした。さらに、局所予混合気塊の熱伝導による熱流束の時間履歴から、HCCI 燃焼の燃焼形態分類法を提案するとともに、温度の空間分布の乱れ長さスケールが燃焼形態に与える影響を明らかにした。マイクロ・ガスタービンの DNS 結果に DMD (dynamic mode decomposition) を適用し、燃焼器内圧力変動と熱発生率の動的特性のスワール数依存性を明らかにした。LES による燃焼シミュレータの構築に向けて、局所的にフラクタル特性を動的に決定するフラクタル・ダイ

様式19 別紙1

ナミック SGS 燃焼モデルを構築した。DNS データを用いた静的テストにより、開発したモデルが既存のモデルよりも高精度であることを明らかにした。さらに、構築した SGS 燃焼モデルを用いた LES コードを構築し、乱流噴流火炎を対象として動的テストを行っている。また、研究代表者らによって開発された SGS 応力モデルにおける格子幅自己認識手法を SGS 燃焼モデルに応用した格子幅自己認識型フラクタル・ダイナミック SGS 燃焼モデルの構築を進めており、より高精度な LES が実現できることが予測される。さらに、実用燃焼器のフル・シミュレーション実現へ向けて、SI エンジンを模擬した閉空間内乱流予混合気の着火火炎伝播の超並列 DNS を実施し、乱流火炎特性、熱損失特性及び大域的火炎構造の圧力依存性等を明らかにした。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 3 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 1 件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 大倉康裕, 樋口和哉, 浦田泰弘, 染矢聡, 店橋護, 高速 PIV によるエンジン燃焼室内の乱流計測, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 79, No. 806, pp. 319-332, 2013. <p>(掲載済み一査読無し) 計 2 件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 店橋護, 志村祐康, 福島直哉. 燃焼器における可視化技術の活用. 日本ガスタービン学会誌, Vol. 41, No. 5, pp. 11-16, 2013. ・ 店橋護, 志村祐康, 福島直哉. スーパーコンピュータを用いた大規模乱流燃焼解析. 伝熱, 2013 年 7 月, pp. 33-38, 2013. <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 19 件</p>	<p>専門家向け 計 17 件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Katsuhiro Hiraoka, Itaru Yoshikawa, Naoya Fukushima, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi and Toshio Miyauchi, Validation of a Fractal Dynamic SGS Combustion Model for LES by DNS of Turbulent Jet and V-Shape Premixed Flames, 14th International Conference on Numerical Combustion, April 8-10, 2013, San Antonio, USA ・ Katsuhiro Hiraoka, Yuki Katada, Itaru Yoshikawa, Naoya Fukushima, Mamoru Tanahashi and Toshio Miyauchi, SGS Combustion Characteristics in a Turbulent Jet Premixed Flame: DNS and the Fractal Dynamic Model, 9th Asia-Pacific Conference on Combustion, May 19-22, 2013, Gyeongju, South Korea ・ Naoya Fukushima, Makito Katayama, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi, and Toshio Miyauchi, Combustion Regime Classification of HCCI Combustion using Lagrangian Fluid Particle Tracking, 24th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS 2013), July 28 - August 2, 2013, Taipei, Taiwan ・ Katsuhiro Hiraoka, Itaru Yoshikawa, Naoya Fukushima, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi and Toshio Miyauchi, Validation of a Fractal Dynamic SGS Combustion Model by DNS of Turbulent Premixed Flame in Strong Shear Flow, 8th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, August 28-30, 2013, Poitiers, France ・ Tsutomu Obayashi, Naoya Fukushima, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi, Toshio Miyauchi, DNS Investigation of Autoignition and Flame Propagation in HCCI Combustion at High Pressure, International Symposium on EcoTopia Science 2013, December 13-15, 2013, Nagoya, Japan ・ Ayane Johchi, Yuzuru Naka, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi, Toshio Miyauchi, Investigation on Local Structure and Dynamics of Turbulent Premixed Flame by High-Speed Laser Diagnostics, The Second International Education Forum on Environment and Energy Science, December 13-17, 2013, California, USA, (Organizing and executive committee member) ・ Katsuhiro Hiraoka, Naoya Fukushima, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi and Toshio Miyauchi, Fractal Characteristics and Eddy Structures in a Turbulent Jet Premixed Flame, 8th China-Japan-Korea Student Symposium, March 19-21, 2014, Hangzhou, China ・ Kozo Aoki, Masayasu Shimura, Naoya Fukushima, Yuzuru Naka, Mamoru Tanahashi and Toshio Miyauchi, DMD Analysis on Turbulent Swirling Premixed Flame in a Cuboid Combustor, 8th China-Japan-Korea Student Symposium, March 19-21, 2014, Hangzhou, China ・ Eriko Miyata, Naoya Fukushima, Yoshitsugu Naka, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi and Toshio

様式19 別紙1

	<p>Miyauchi, Direct Numerical Simulation of Methane/air Premixed Flame in a Micro Channel, 8th China-Japan-Korea Student Symposium, March 19-21, 2014, Hangzhou, China</p> <ul style="list-style-type: none"> 志村祐康, 朽木孝太郎, 福島直哉, 店橋護, 宮内敏雄, 直接数値計算による旋回乱流予混合火炎の局所火炎構造の解明, 第50回伝熱シンポジウム, 2013年5月29日～5月31日, 宮城県仙台市 城地文音, 志村祐康, 店橋護, 宮内敏雄, 高繰り返し周波数 CH/OH PLIF とステレオ PIV の同時計測による乱流噴流予混合火炎の局所火炎構造と動的特性の解明, 第50回伝熱シンポジウム, 2013年5月29日～5月31日, 宮城県仙台市 河尻翔太, 福島直哉, 店橋護, 志村祐康, 宮内敏雄, マイクロチャンネル内予混合火炎の直接数値計算, 第50回日本伝熱シンポジウム, 2013年5月29日～5月31日, 宮城県仙台市 宮田英里子, 河尻翔太, 福島直哉, 志村祐康, 店橋護, 宮内敏雄, マイクロ円管内における予混合火炎の直接数値計算, 第26回計算力学講演会, 2013年11月2日～11月4日, 佐賀県佐賀市 宮田英里子, 福島直哉, 志村祐康, 店橋護, 宮内敏雄, マイクロ円管内予混合火炎に対する壁面温度勾配の影響, 第51回燃焼シンポジウム, 2013年12月4日～12月6日, 東京都大田区 Basmil Yenerdag, 福島直哉, 志村祐康, 店橋護, 宮内敏雄, Turbulence-Flame Interaction in a Constant Volume Vessel, 第51回燃焼シンポジウム, 2013年12月4日～12月6日, 東京都大田区 城地文音, 志村祐康, 店橋護, 宮内敏雄, 高繰り返し周波数 CH/OH PLIF と時系列ステレオ PIV の同時計測による乱流予混合火炎の局所火炎構造と動的特性の解明, 第51回燃焼シンポジウム, 2013年12月4日～12月6日, 東京都大田区 青木虹造, 志村祐康, 福島直哉, 中吉嗣, 店橋護, 宮内敏雄, DMD 解析によるマイクロ燃焼器内の流動・燃焼特性の解明, 日本機械学会 関東支部第20期総会・講演会, 2014年3月14日～3月15日, 東京都小金井市 <p>一般向け 計2件</p> <ul style="list-style-type: none"> 一般向け公開講演会 「炎を科学する：人類はなぜ火を燃やすか？」(開催日：2013年9月20日, 開催地：東京工業大学 田町キャンパスイノベーションセンター (4階410号室), 参加者数：55名) 東京工業大学工大祭オープンキャンパスにおける研究室一般公開 (開催日：平成25年10月12, 13日, 開催地：東京工業大学大岡山キャンパス, 見学者数：212名)
<p>図書 計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>多次元多変量光学計測と超並列 GPU-DNS による高圧乱流燃焼機構の解明と高度応用 http://www.navier.mes.titech.ac.jp/gr038/</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 一般向け公開講演会 「炎を科学する：人類はなぜ火を燃やすか？」(開催日：2013年9月20日, 開催地：東京工業大学 田町キャンパスイノベーションセンター (4階410号室), 参加者数：55名) 東京工業大学工大祭オープンキャンパスにおける研究室一般公開 (開催日：平成25年10月12, 13日, 開催地：東京工業大学大岡山キャンパス, 見学者数：212名)
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計0件</p>	
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> 多次元複合光学計測によって取得された高レイノルズ数メタン・空気乱流予混合火炎の三次元火炎構造の可視化画像が, 日本ガスタービン学会誌 Vol. 41, No. 5 の表紙に採用された。 本研究で行った高レイノルズ数V型乱流予混合火炎の可視化画像が, 日本流体力学会の学会誌「ながれ」第31巻 No. 4 の表紙として採用された。

様式19 別紙1

4. その他特記事項

本研究で得られた研究成果は、燃焼研究分野で最も権威のある国際会議、International Symposium on Combustion（隔年開催、今回は2014年）に以下のように採択されている。

- ・ Basmil Yenerdag, Naoya Fukushima, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi, Toshio Miyauchi, Turbulence- Flame Interaction and Fractal Characteristics of H₂-Air Premixed Flame under Pressure Rising Condition, 35th International Symposium on Combustion (2014), accepted.
- ・ Eriko Miyata, Naoya Fukushima, Yoshitsugu Naka, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi, Toshio Miyauchi, Direct Numerical Simulation of Micro Combustion in a Narrow Circular Channel with a Detailed Kinetic Mechanism, 35th International Symposium on Combustion (2014), accepted.
- ・ Naoya Fukushima, Makito Katayama, Toshitsugu Naka, Tsutomu Oobayashi, Masayasu Shimura, Yuzuru Nada, Mamoru Tanahashi, Toshio Miyauchi, Combustion Regime Classification of HCCI/PCCI Combustion using Lagrangian Fluid Particle Tracking, 35th International Symposium on Combustion (2014), accepted.
- ・ Ayane Johchi, Yoshitsugu Naka, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi, Toshio Miyauchi, Investigation on Rapid Consumption of Fine Scale Unburned Mixture Islands in Turbulent Flame via 10 kHz Simultaneous CH-OH PLIF and SPIV, 35th International Symposium on Combustion (2014), accepted.
- ・ Kozo Aoki, Masayasu Shimura, Shinichi Ogawa, Naoya Fukushima, Yoshitsugu Naka, Yuzuru Nada, Mamoru Tanahashi, Toshio Miyauchi, Short- and Long-term Dynamic Modes of Turbulent Swirling Premixed Flame in a Cuboid Combustor, 35th International Symposium on Combustion (2014), accepted.

これらの論文は、国際会議発表後に発行される Proceedings of the Combustion Institute（本研究分野で最も権威のある学術雑誌、5 Year Impact Factor: 2.625）への掲載に向けて、審査中である。なお、当該学術雑誌への掲載は上記国際会議に採択された論文のみである。

