

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06939

研究課題名(和文) 超臨界圧下の流体相変化現象に対する多成分二相平衡モデルの提案と燃焼流解析への応用

研究課題名(英文) Modeling for multi-component flows and combustion dynamics under supercritical pressure environments

研究代表者

寺島 洋史(石原洋史)(Terashima, Hiroshi)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：20415235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ロケットエンジンなどに見られる臨界圧を超えた超臨界状態を対象として、多成分流体および燃焼現象の理解に資する数値シミュレーション技術を新たに開発した。超臨界流体では流体熱物性および輸送物性の非理想性効果が表れるが、それぞれ適切な非理想モデルを導入し、十分な検証を行うことで技術を確立させた。超臨界圧燃焼現象においては、特に拡散係数の影響が大きく、非理想モデル選択に注意が必要であることを明確にした。また、超臨界圧環境では、伝播火炎帯が非常に薄くなるため、高い計算格子解像度が必要となる。そこで、粗い計算格子でも火炎特性(火炎伝播および自着火現象)を再現できる新たな火炎モデル構築に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、急速な温暖化をはじめとして地球環境問題の改善が喫緊の課題である。燃焼機器の熱効率向上を目的に、現在考慮されていないような超高压環境下での燃焼技術が今後求められる可能性がある。本研究で開発した超臨界圧流体および燃焼シミュレーション技術は、従来のシミュレーション技術ではあまり考慮されていない流体非理想性を適切に考慮したものであり、今後の高压燃焼流体解析技術およびそれを使用した燃焼技術の革新に資するものである。また、非理想モデルは汎用性ある形で計算ライブラリ化されており、それぞれのシミュレーションプログラムにおいて使用可能である。これにより、本研究成果の社会展開が可能である。

研究成果の概要(英文)：This study has developed a simulation method for combustion and multi-component flow dynamics under supercritical pressures. The method introduced the non-ideal thermodynamic and transport property models to consider peculiar behaviors that appear in supercritical pressures. All the models were fully validated in comparison with experimental or reference data. The flame propagation problems under supercritical pressures demonstrated that the non-ideal effects in the diffusion coefficient are the most influential for the prediction of laminar flame speeds. Regarding thinner flame in higher-pressure conditions, we have developed a new flame model, with which the flame propagation behavior under elevated pressure conditions was successfully captured even on coarser grids. Besides, we constructed a non-ideal fluid library, with which the non-ideal thermodynamic and transport properties are easily obtained in arbitrary simulation programs.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：超臨界流体 燃焼 非理想性 数値シミュレーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ロケットや航空ガスタービンエンジンでは、高圧環境下で燃料と酸化剤の混合や燃焼が生じる。液体ロケットエンジンの代表的な作動圧力(H-IIA/Bで約120気圧)は、噴射される推進剤の臨界圧を超えた超高圧環境であり、超臨界圧状態と呼ばれる。また、ロケットエンジンなどに限らず、今後の燃焼機器においても、熱効率向上を目的に、さらなる高圧燃焼化が考えられ、超臨界圧を含む高圧状態における流体および燃焼挙動を再現できる解析技術が強く求められる。

超臨界圧状態では、特に極低温流体において流体非理想性効果が顕著となり、流体熱物性および輸送物性に非理想性を考慮する必要がある。しかし、現状、高圧条件とはいえ一般的な流体および燃焼解析では、しばしば理想流体を仮定した解析が行われることが多い。これは、高圧状態での流体非理想性効果が明確でないことや、熱物性や輸送物性の非理想性モデルの導入が困難であることに要因があると考えられる(商用解析ソフトでの実装が一般的ではない)。また、超臨界圧流体の解析では、接触界面を通じた物理量が連続的に変化すると仮定から、単相近似のもと解析が実施されることがほとんどである。この単相近似仮定については、低圧気液状態のような多相近似の拡張を含め、未だ不確定な要素といえる。今後、超臨界圧流体解析の幅広い展開を目指すためには、熱物性や輸送物性の非理想性モデルの導入の敷居を低くすること、それにより非理想性効果を明確にすること、単相近似の有効性を示すことが重要といえる。

2. 研究の目的

本研究は、ロケットエンジンなどで見られるような臨界圧を超えた超臨界圧状態における多成分流体および燃焼現象を対象に、超臨界圧非理想性を考慮した数値シミュレーション技術の開発を目的とした。一般的には、高圧状態においても、流体理想性を仮定した解析を実施することが現在においても多い。これは、超臨界圧状態における流体非理想性の影響が明確でないことが要因の1つといえる。また、超臨界圧状態では、単相近似が用いられることが多いが、その近似仮定の検証も必要といえる。そこで、本研究では、流体非理想性を適切に考慮することで、超臨界圧多成分流体および燃焼現象に対する直接的数値解析手法を構築し、流体非理想性の影響および単相近似仮定を調査、実用的な流体および燃焼問題へと適用することを目的とした。

3. 研究の方法

超臨界圧流体および燃焼現象を再現する数値シミュレーション技術を開発する。超臨界圧流体では熱物性および輸送物性の非理想性を考慮する必要が出てくるが、汎用性を考慮し、解析者が指定する任意の多成分化学種を取り扱うことができるよう工夫する。このような汎用性ある計算ライブラリは、超臨界圧流体解析実施の敷居を大きく下げることができる。また、任意の化学種を取り扱うことができることから、燃焼解析で重要となる詳細化学反応機構の使用においても問題ないようライブラリ設計を行う。数値シミュレーション技術の開発においては、その妥当性の検証が必要不可欠である。実験データや参照解を利用することで、妥当性検証を十分に踏まえた上で、実用問題への適用を行い、技術確立を行う。

4. 研究成果

(1) 極低温領域を含む超臨界圧流体のシミュレーションでは、流体非理想性を考慮する必要がある。そこで、まず目標達成の基盤となる流体非理想性を考慮した超臨界圧流体-燃焼解析プログラムを開発した。熱物性の非理想性を考慮するため、超臨界圧状態で作動するロケット燃焼流体分野で使用実績のある Soave-Redlich-Kwong(SRK)状態方程式モデル[1]、輸送物性の粘性係数と熱伝導率に対して Chung らのモデル[2]、拡散係数に対して Riazi and Whitson モデル[3]を採用した。任意の化学種から成る多成分流体、特に燃焼流体シミュレーションでは、各化学種のエンタルピーや内部エネルギーを求める必要があるが、本研究では、Meng and Yang[4]が提案した Partial density の考え方を採用することで熱力関係を定式化し、プログラムとして実装した。本研究の特徴の1つとして、熱物性と輸送物性を求めるプログラムは、理想流体に対して世界中で使われている CHEMKIN[5,6]のフォーマットに従うように設計、構築されており、任意の多成分流体を汎用的に扱うことが可能である。理想流体プログラムから非理想流体プログラムへの修正に大きな労力を必要としないことから、本研究で作成した解析技術の社会展開が可能となる。開発したプログラムは、参照解となる米国 NIST データ[7]との比較から、熱物性、輸送物性の妥当性検証を実施し、問題がないことを確認した。図1に、窒素、圧力50気圧(臨界圧は約34気圧)における、温度変化に対する密度と内部エネルギーの結果を示した。臨界温度(約126 K)付近での急激な変化を含め、標準解となる NIST データをよく再現することがわかる。ここには示さないが、水素や酸素といった代表的な化学種においても妥当性を確認している。また、図2には、多成分流体での検証として、Partial density の考えで求められた内部エネルギーの比較を示した。多成分流体の全内部エネルギーを求める際には、状態方程式の係数を各化学種分率から求める方法と、Partial density の考えで求める方法がある。今回の検証から、Partial density の考えにおいても適切な全内部エネルギーを得られることがわかった。この検証は、燃焼流体シミュレーションにおいて重要なことである。

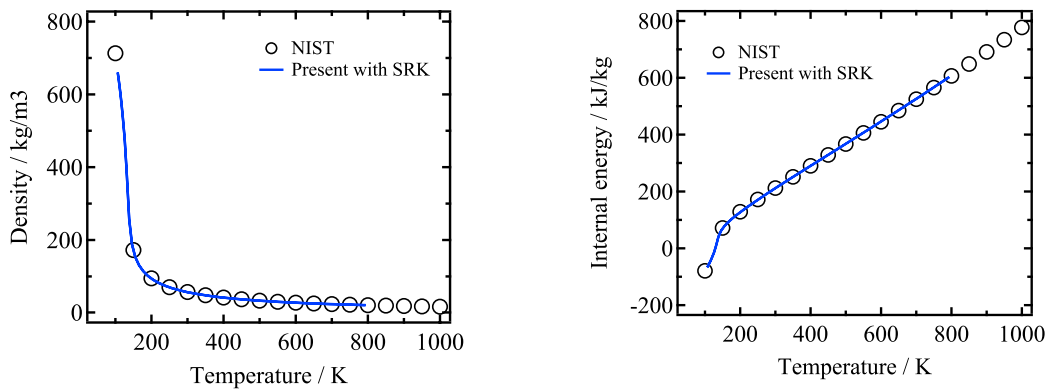


図1 Comparison of thermodynamic properties between NIST and the present work

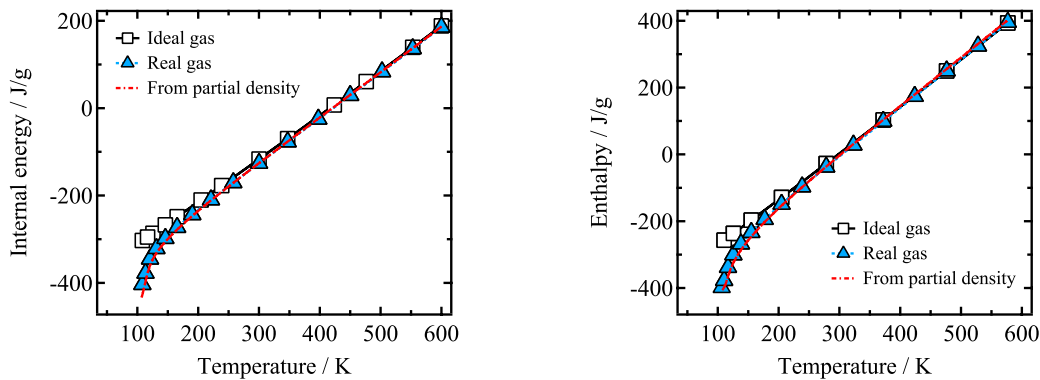


図2 Validation of partial density assumption for internal energy and enthalpy of species

(2) 開発した超臨界圧流体-燃焼解析プログラムを実際の燃焼問題に適用し、さらなる妥当性検証を実施した。この検証では、これまで不明瞭であった流体非理想性の効果がどのように現れるのかを調べることも目的とした。水素空気系の層流火炎伝播問題を対象に、常圧(1気圧)から水素酸素の超臨界圧となる60気圧、当量比を0.6から2.0までと広範囲の条件を設定した。図3に得られた層流燃焼速度の結果を示す。常圧では、参照解となる理想流体を仮定したCHEMKINによる結果と、当量比に対する傾向を含め、良く一致することが示された。一方、圧力の上昇により、層流燃焼速度は低下していき、さらにCHEMKINの結果と本解析結果の間に差が発生することが確認され、高圧条件における非理想性の効果が現れたと考えられる。本解析結果は、理想流体を仮定した解析結果に対して、層流燃焼速度を小さく見積もることになるが、この傾向は先行研究Liang[8]らの結果と一致した。熱物性および輸送物性の非理想性が関係しているといえるが、今回の火炎伝播問題では、未燃気体の温度を300 Kと設定しており、熱物性の非理想性効果は小さいと考えた。そこで、火炎帯内の平均輸送係数値を取得し、各圧力での非理想性効果を調べた(理想流体仮定の値との比較)。結果、粘性係数と拡散係数における非理想性効果が大きいことがわかり、さらに本条件でのシュミット数を考えることで、拡散係数の非理想性が支配的であるという結論を得た。本解析によって、超臨界圧燃焼解析における拡散係数のモデル化の重要性が示唆された。

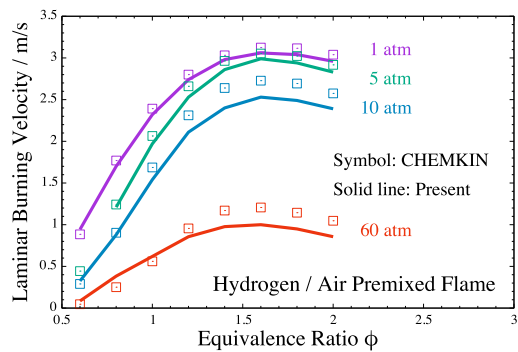


図3 Comparison of laminar flame speeds

開発した超臨界圧流体-燃焼解析プログラムの実用的な解析としてロケットエンジン噴射器近傍燃焼場の解析を実施し、燃焼圧力の影響を調べた。水素酸素系を対象に燃焼圧を20気圧から5気圧まで変化させた。図4に、各燃焼圧における噴射器ポスト背後の時間平均温度場と水素の質量分率場を示す。噴射器ポスト背後の再循環領域は、どの燃焼圧でも同様に形成されるが、温度分布は圧力によって変化することが確認できる。再循環領域の温度分布は、高圧条件

では非一様であるが、燃焼圧が小さくなるに従い、ポスト背後全体で火炎が形成されるため、高温気体に占有される。また、高圧条件では、再循環領域内部の水素質量分率が大きくなることが確認できる。ポスト背後に形成される火炎特性を調べるため、再循環領域のある時刻で得られた(水素原子に対する)混合分率と温度の関係を図5に示す。図5には、理想的な状態として対向噴流火炎解析から得られた結果を比較のために示す。これらの比較から、ポスト背後では複雑な流れ場形成される一方で、圧力に依存せずほぼ理想的な予混合火炎が形成されていることがわかった。また、高圧条件で見られる非一様な温度分布の原因については、拡散の低下によって酸素噴流側に薄い火炎が形成されるため、再循環領域に低温の未燃水素と燃焼反応によって生じた高温燃焼気体の両方が流入するためであることを明らかにした。低圧条件では、比較的厚い火炎帯がポスト背後全体に形成されるため、ほぼ均一な高温場が形成される。

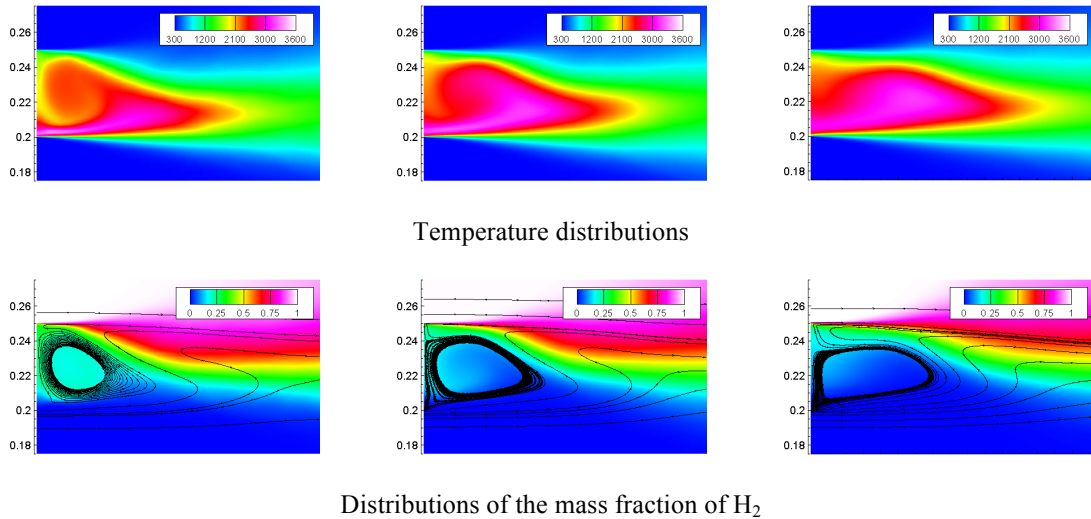


図4 Effect of combustion pressure on H_2/O_2 combustion flow fields behind the injector post (left: 20 atm; middle: 10 atm; right: 5 atm)

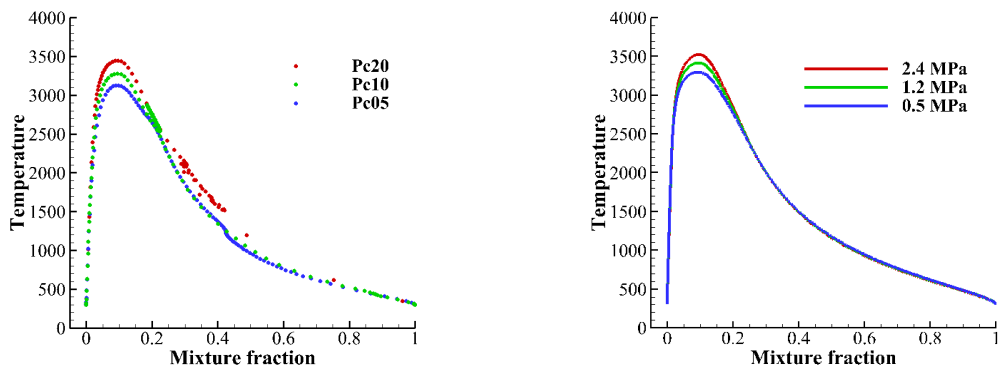


図5 Relationship between temperature and mixture fraction. Left: CFD results; right: results from a counter-diffusion flame by CHEMKIN

(3) 超臨界圧燃焼火炎モデルの開発：圧力の上昇とともに、前述した層流燃焼速度の低下に加え火炎帯厚さも大幅に薄くなる。例えば、水素酸素系 100 気圧条件では、火炎帯厚さが約 $10e-6$ [m]と評価されている。この特性は、数値シミュレーションにおいて、火炎の適切な解像が難しくなることを意味している。現時点での解析は基礎的な問題のため、問題は顕在化しないが、実用的な多次元問題では大きな問題となる。そこで、効率的な超臨界圧燃焼流体シミュレーションに向けて、粗い格子でも火炎特性を再現することができる新しい火炎モデルの開発を行った。これは、当初予定されていたものではないが、超臨界圧燃焼問題に取り組む過程で、今後必要不可欠となる要素技術と判断した。提案モデルは、空間フィルター操作を施した支配方程式に基づき、フィルター余剰項をある物理制約条件のもと構築するという独自の考えに立脚したものである。物理制約条件として方程式固有特性となる層流燃焼速度を用いた。モデルでは、まず余剰項の拡散係数を大きくすることで火炎帯を人工的に拡大させる。その一方で、層流燃焼速度を維持するようにその他の余剰項となる化学反応率、粘性係数、そして熱伝導率を構築するものである。火炎帯を特定するための指標関数には、高次微分を導入することで、モデルの局所性および動的特性を持たせた。局所性によって、伝播火炎以外の現象を妨げない特長をもたせ、従来問題となっていた自着火現象の再現を可能とした。また、自動車エンジンなど容

器内で伝播する火炎は圧力上昇とともに薄くなる。モデルの動的特性によって、動的に薄くなる火炎を自動的に検出し、適切に火炎帯を拡大する特長をもたせることができた。本提案モデルを定容容器火炎伝播および自着火問題に適用した[9,10]。図6に、容器内圧力の時間変化を示す。左側にモデル無しの結果を示した。初期においては、計算格子幅による差は見られないが、10 ms 付近から結果に差が生じてくる。最大格子幅(40e-6 [m])の場合、徐々に圧力変化が緩やかになり、最終的に圧力ピーク及び振動が見られる。これは、火炎伝播速度が小さくなったため、末端ガス(火炎と壁の間に存在する未燃ガス)の自着火を許し、圧力波が形成されたことを意味する。一方、格子幅を小さくしていくと、圧力変化が急になり、圧力ピークは見られなくなる。この結果は、火炎伝播とともに容器内圧力が上昇し、火炎帯厚さが薄くなったため、格子解像度の影響が現れたことを意味する。一方、右側にモデルを導入して得られた結果を示す。モデル無しの結果とは大きく傾向が異なり、いずれの結果も参照解とほぼ一致する結果となった。つまり、どの格子幅においても火炎伝播速度および自着火時間を正確に予測できたことを示すものである。これは、モデルが火炎近傍のみに働き(局所性)、かつ圧力上昇とともに薄くなる火炎に対して火炎帯拡大効果を動的に作動させていることを意味する。この局所性および動的特性は、従来のモデルが持たない特性であり、提案したモデルの優位な特性といえる。この開発により、高圧燃焼解析において問題となる薄い火炎帯の解像が可能といえる。

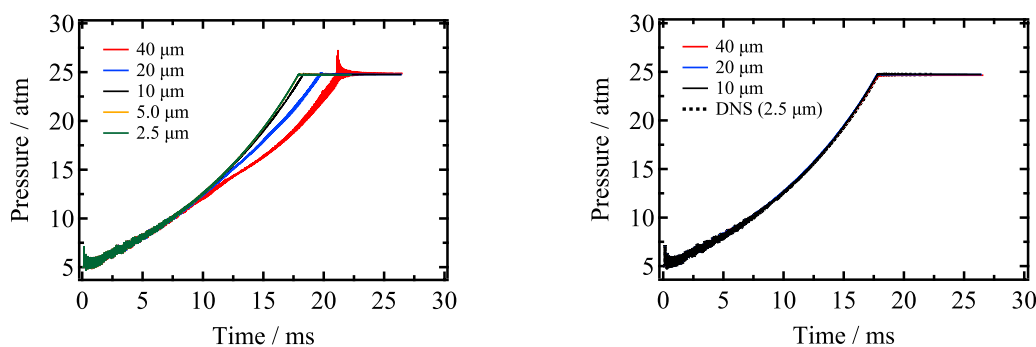


図6 Comparison of pressure time histories at the wall obtained with no model (left) and with the proposed model (right)

<引用文献>

- [1]. G. Soave, Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong equation of state, Chem. Eng. Sci., 27, 1197-1203, 1972.
- [2]. T. H. Chung, M. Ajlan, L.L. Lee, K.E. Starling, Generalized multiparameter correlation for nonpolar and polar fluid transport properties, Ind. Eng. Chem. Res., 27, 671-679, 1988.
- [3]. M.R. Riazi, C.H. Whitson, Estimating diffusion coefficients of dense fluids, Ind. Eng. Chem. Res., 32, 3081-3088, 1993.
- [4]. H. Meng, V. Yang, A unified treatment of general fluid thermodynamics and its application to a preconditioning scheme, J. Comput. Phys., 189, 277-304, 2003.
- [5]. R.J. Kee, G. Dixon-Lewis, J. Warnatz, M.E. Coltrin, J.A. Miller, A Fortran computer code package for the evaluation of gas-phase multicomponent transport properties, Sandia National Laboratory Report, SAND86-8246, 1986.
- [6]. R.J. Kee, F. Rupley, J.A. Miller, Chemkin-II: A Fortran chemical kinetics package for the analysis of gas-phase chemical kinetics, Sandia National Laboratory Report, SAND89-8009, 1989.
- [7]. NIST, <http://www.nist.gov/srd/refprop>.
- [8]. W. Liang, W. Li, C.K. Law, Laminar flame propagation in supercritical hydrogen/air and methane/air mixtures, Proc. Combust. Inst., 37, 1733-1739, 2019.
- [9]. 寺島, 河合, A localized thickened flame model: 定容容器内火炎伝播及び末端ガス自着火現象への適用, ながれ, 38, 435-438, 2019.
- [10]. H. Terashima, Y. Hanada, S. Kawai, A localized thickened flame model for simulations of flame propagation and autoignition under elevated pressure conditions, selected for oral presentation at the 38th International Symposium on Combustion, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 S. Murakami, H. Terashima, N. Oshima	4. 巻 -
2. 論文標題 Fuel effects on the combustion flow structure behind a splitter plate of a rocket injector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aerospace Technology Japan	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 寺島洋史, 河合宗司	4. 巻 38
2. 論文標題 A localized thickened flame model: 定容容器内火炎伝播及び末端ガス自着火現象への適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ながれ	6. 最初と最後の頁 435, 438
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 S. Matsuyama, H. Terashima, M. Koshi, A. Umemura	4. 巻 -
2. 論文標題 Detailed Modeling of Supercritical Jets and Flames	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High-Pressure Flows for Propulsion Applications, Progress in Astronautics and Aeronautics	6. 最初と最後の頁 567, 626
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2514/4.105814	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Terashima, A. Matsugi and M. Koshi	4. 巻 203
2. 論文標題 End-gas autoignition behaviors under pressure wave disturbance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Combustion and Flame	6. 最初と最後の頁 204, 216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.02.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 T. Nogawa, H. Terashima
2. 発表標題 Effects of NTC region on end-gas combustion modes under temperature stratification
3. 学会等名 27th International Colloquium on the Dynamics, Explosions and Reactive Systems (ICDERS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Murakami, H. Terashima, N. Oshima
2. 発表標題 Fuel effects on the combustion flow structure behind a splitter plate of a rocket injector
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Amano, T. Araki, H. Terashima, D. Muto, K. Ozawa, N. Tsuboi
2. 発表標題 Numerical study on cryogenic/jet crossflow interaction structures under supercritical pressure
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Murakami, H. Terashima, N. Oshima
2. 発表標題 A computational study for combustion flow fields of a high-pressure gaseous hydrogen/oxygen coflow jet behind a splitter plate
3. 学会等名 AIAA Science and Technology Forum and Exposition 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花田豊, 河合宗司, 寺島洋史
2. 発表標題 詳細反応機構を用いた格子依存性の少ない火炎面捕獲モデリング
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木天秀, 武藤大貴, 寺島洋史, 坪井伸幸
2. 発表標題 超臨界圧高密度比混合層分布の数値評価について
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田徹, 村上峻, 寺島洋史, 大島伸行
2. 発表標題 ロケットエンジンH ₂ /O ₂ 燃焼流れ場に対する噴射器リセス長さの影響
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上峻, 寺島洋史, 大島伸行
2. 発表標題 燃焼圧によるロケット噴射器近傍燃焼流れ場構造の変化: H ₂ /O ₂ とCH ₄ /O ₂ の比較
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺島洋史, 河合宗司
2. 発表標題 A localized thickened flame model: 定容容器内火炎伝播及び末端ガス自着火現象への適用
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 万浪義史, 寺島洋史
2. 発表標題 直交噴流によって誘起される爆燃爆轟波遷移現象に関する数値解析
3. 学会等名 第51回流体力学講演会/第37回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Terashima
2. 発表標題 An efficient methodology for combustion flow simulations with large detailed chemical kinetics
3. 学会等名 Korea Society for Computational Fluids Engineering (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Nogawa and H. Terashima
2. 発表標題 Effects of temperature stratification on combustion modes associated with end-gas autoignition
3. 学会等名 Fifteenth International Conference on Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Murakami, H. Terashima, and N. Oshima
2. 発表標題 A computational study for combustion flow fields of a high-pressure gaseous hydrogen/oxygen coflow jet behind a splitter plate
3. 学会等名 AIAA Science and Technology Forum and Exposition 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Daimon, H. Negishi, H. Tani, H. Terashima, S. Silvestri, O. Haidn
2. 発表標題 Comparison study of combustion flow fields and heat transfer characteristics between GCH4/GO2 single- and multi-element combustion chambers
3. 学会等名 Space Propulsion conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本賢, 寺島洋史
2. 発表標題 非理想熱・輸送物性を考慮した超臨界圧燃焼流れシミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会北海道学生会第48回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野川理尚, 寺島洋史
2. 発表標題 エンジン内部の温度不均一性がエンドガス自着火に与える影響
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村上峻, 寺島洋史, 大島伸行
2. 発表標題 ロケット噴射器近傍に形成される燃焼流れ場構造: H ₂ /O ₂ とCH ₄ /O ₂ の比較
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木天秀, 武藤大貴, 寺島洋史, 坪井伸幸
2. 発表標題 超臨界圧高密度比流れに対するエネルギー/圧力発展ハイブリッド法
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋悠哉, 寺島洋史, 河合宗司
2. 発表標題 詳細反応機構を用いたCFDにおける荒い格子上で火炎面捕獲物理モデリング
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木天秀, 武藤大貴, 寺島洋史, 坪井伸幸
2. 発表標題 エネルギー/圧力発展方程式ハイブリッド法を用いた超臨界極低温噴流における密度接触面の堅牢な数値解析
3. 学会等名 第50回流体力学講演会/第36回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺島洋史, 大門優
2. 発表標題 ロケット噴射器リセス長さと燃焼流れ場・性能との関係について
3. 学会等名 第31回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺島洋史, 大門優, 根岸秀世
2. 発表標題 ロケット燃焼器における高圧メタン酸素燃焼場の解析
3. 学会等名 日本流体力学会年会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Daimon, H. Terashima, H. Tani, H. Negishi
2. 発表標題 Numerical Investigation on Effects of Recess Variation upon a GCH4/GOX Shear Coaxial Combustion Chamber
3. 学会等名 31st International Symposium on Space Technology and Science (ISTS) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----