

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01522

研究課題名（和文）超臨界圧燃焼流れ場の高度デジタル予測に資する詳細反応機構-燃焼LES技術の開発

研究課題名（英文）Supercritical combustion modeling for large-eddy simulations

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） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：航空宇宙推進器等で重要となる超臨界圧燃焼流体シミュレーション技術の開発を行った。超臨界圧流体では、非理想性の考慮が重要となるが、熱物性と輸送物性に加えて、既存の研究で無視されてきた化学反応に対する非理想性を考慮した超臨界圧燃焼流体シミュレーション技術を確立した。開発したシミュレーション技術は実験結果との比較によりその妥当性が検証された。また、高圧条件では燃焼火炎帯を適切にシミュレーションするために膨大な格子点数が必要となる。この問題を解決するために新しい伸張火炎モデルを提案した。本火炎モデルによって、非常に少ない格子点数で正確な火炎挙動を捉えることが可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既存の研究で無視されてきた化学反応に対する非理想性を考慮した超臨界圧燃焼流体シミュレーション技術を確立した。既存の研究とは異なり、化学反応の平衡定数を通して非理想性が考慮されるようモデル化を行ったものである。熱物性、輸送物性、そして化学反応と一貫して非理想性が考慮できる世界でも稀な解析技術である。また、新しい火炎モデルの開発では、物理現象を満たすように空間フィルター余剰項を構築するという独自の手法論を用いてその開発に成功した。モデルを利用しない直接数値解析に対して数百倍から数千倍という大幅な計算負荷の低減が可能であり、燃焼技術開発におけるシミュレーション適用に大きなインパクトを与える。

研究成果の概要（英文）：A novel numerical modeling for combustion flows under supercritical pressure conditions has been introduced, which uniquely incorporates real-fluid effects regarding chemical kinetics. The proposed modeling was sufficiently validated through comparison with experimental data. Additionally, the study has successfully developed a novel flame model, named LTF-S, for efficient combustion simulations under high pressures. The LTF-S model accurately predicts flame speeds under stretching effects, even with very coarse grid resolutions compared to direct numerical simulations.

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 火炎モデル ラージエディシミュレーション

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ロケットや航空エンジンでは、高推力要求のもと高圧環境下において燃料と酸化剤の混合や燃焼が行われる。特に液体ロケットエンジンは、噴射推進剤の臨界圧を超えた超臨界圧条件で作動する。また、近年の地球環境問題から、火力発電や自動車内燃機関などにおいても高い熱効率を目指して高圧燃焼化が推進されている。そのため、超臨界圧条件を含む高圧環境下の流体混合や燃焼挙動の予測が益々重要となっている。超臨界圧条件では、常圧に比して可視化計測等が困難になることから、実験で得られる燃焼流れ場の時空間情報は最新計測技術においても限定的である。そのため、燃焼器性能や様々な燃焼流れ場情報を詳細に与えてくれる燃焼流体シミュレーション（燃焼 CFD: computational fluid dynamics）技術への期待は大きい。

超臨界圧燃焼流れ場の予測には非理想性の考慮が重要となるが、非理想性を考慮した熱物性や輸送物性モデルが十分に確立している一方、化学反応に対する非理想性に関する議論は不十分であり、その方法論が確立していないという課題がある。また、高圧燃焼流れ場の予測には粗い格子でも火炎挙動を正確に捉える火炎モデルが不可欠である。これは火炎帯の厚さが周囲圧力に反比例するため、超臨界圧条件に対して直接数値解析（DNS: direct numerical simulation）を実施することはほぼ不可能である。しかし、詳細反応機構をはじめとした有限反応率モデルの適用を考えると、未だ標準的な火炎モデルが存在しないという課題がある。本研究では、有限反応率モデルが適用可能な新たな LES (large-eddy simulation) 火炎モデルを提案し、その有効性を実証する。

### 2. 研究の目的

航空宇宙推進器などで見られる超臨界圧環境下での燃焼流れ場を高精度に予測するための燃焼 CFD 技術を開発する。化学反応の理解に基づく燃焼制御及び予測技術を実現するため、詳細反応機構を含む有限反応率モデルが適用可能な燃焼 CFD 技術を開発する。具体的には、超臨界圧で顕著に見られる流体非理想性を考慮した燃焼 CFD 技術の開発、また高圧条件では燃焼火炎帯の厚さが薄くなることを踏まえ、粗い計算格子でも火炎挙動を正確に予測できる LES 火炎モデルの開発を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 超臨界圧流体の燃焼 CFD 解析では流体非理想性の考慮が必要となる。既存研究では熱物性と輸送物性に対して非理想性の考慮はなされてきたが、化学反応（有限反応率モデル）に対してはその効果を見逃すことがほとんどであり、その方法論も確立されてこなかった。そこで本研究では、熱物性と輸送物性に加えて、化学反応に対する非理想性も考慮した一貫性のある超臨界圧燃焼 CFD 技術を開発する。参照可能な高圧伝播火炎速度データとの比較を通して、開発した技術の妥当性検証を実施する。

(2) 超臨界圧燃焼 CFD 解析を行う場合の問題点として、火炎帯の解像に膨大な計算格子点が必要となることが挙げられる。これは、火炎帯の厚さが周囲圧力に反比例するため（高圧水素火炎帯厚さは  $1.e-5$  m 以下である）、今後のスーパーコンピュータの性能向上を考えたとしても、計算格子による直接解像（DNS の実施）は絶望的である。そこで、本研究では、粗い格子でも伝播火炎の挙動を正確に捉える新しい LES 火炎モデルの開発を行う。燃焼 CFD 解析において化学反応を有限反応率モデルで記述する場合、LES の空間フィルタリングが本質的に困難という問題があるが、物理現象を満たすように空間フィルター余剰項を構築するという独自の的方法論を用いて火炎モデル開発を実施する。開発した火炎モデルは、DNS 解との比較を通じて、その精度と有効性を検証する。

### 4. 研究成果

本研究では、従来から認識されている状態方程式モデル（熱物性）と輸送係数モデル（輸送物性）への非理想性の導入に加え、化学反応モデルにおける非理想性を考慮した超臨界圧燃焼 CFD 技術の開発及び粗い格子でも火炎挙動を正確に捉える LES 火炎モデルの開発を試みた。支配方程式は各化学種の質量保存式を加えた圧縮性 Navier-Stokes 方程式で、化学反応方程式を分離し、化学凍結を仮定した圧縮性 Navier-Stokes 方程式と時間方向に交互に解き進める分離解法を採用した。状態方程式には、3 次型状態方程式である Soave-Redlich-Kwong (SRK) 方程式を用いた。粘性係数と熱伝導率は、Chung らによって提案された推算式を用いた。拡散係数は Riazzi and Whitson のモデルを採用した。本解析コードの非理想部分の計算ライブラリは、世界で広く利用されている CHEMKIN-II のフォーマットに準拠するように設計されており、任意多成分系における熱及び輸送物性の算出が可能である。

(1) 化学反応における非理想性は反応速度の平衡定数の修正を通して導入した。反応速度に対する非理想性を考慮するため、既存研究においてモル濃度の代わりに活量濃度 (activity concentration) を導入するモデルも提案されているが、本研究は低圧条件で用いられる通常の反

応速度式を採用した。これは、化学反応が分子数（モル濃度）に支配されていること、またモル濃度は SRK 状態方程式から直接得られるからである。反応速度式から平衡定数を求め、フガシティーを用いた反応前後のギブス自由エネルギー変化の式と連立することで、非理想性を考慮した平衡定数が導出される。つまり、正反応か逆反応のいずれかが実験もしくは理論により求めると想定し、平衡定数を通じて非理想性を導入したことになる。本燃焼 CFD 解析技術は、熱物性、輸送物性、化学反応と非理想性が一貫性を持って考慮された世界でも稀有な解析技術である [1,2].

(2) 燃焼特性に対する非理想性を評価する方法として、等温ジュールトムソン (J-T) 係数の利用を提案した [1,2]. 燃焼 CFD 解析を行った場合、同じ温度、圧力条件の解析であっても、理想モデルと非理想モデルの間で、エンタルピー（または内部エネルギー）が大きく異なる場合がある。エンタルピーの圧力依存性は、化学種に依存し正にも負にもなり（つまり非理想性の影響度合いは化学種に依存する）、その依存性は等温ジュールトムソン (J-T) 係数で説明できることを示した。理想気体条件では、J-T 係数はゼロであり、理想モデルではエンタルピーの圧力依存性は表現できない。図 1 に、SRK 状態方程式を用いて求めた  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $Ar$ , そして  $He$  の J-T 反転曲線を示す。曲線の内側が負の等温 J-T 係数を持ち、外側が正の等温 J-T 係数を持つ。例えば、温度 300 K で圧力 10 MPa の条件では、 $H_2$  と  $He$  のエンタルピーは圧力に対して正の依存性を示し、他の化学種は負の依存性を示す。これまでも燃焼特性に対する非理想性の影響に関する議論は行われてきたが、J-T 係数の観点で議論した研究はなく、燃焼条件と混合物組成が与えられれば、非理想性の影響を事前に把握できることを示した。

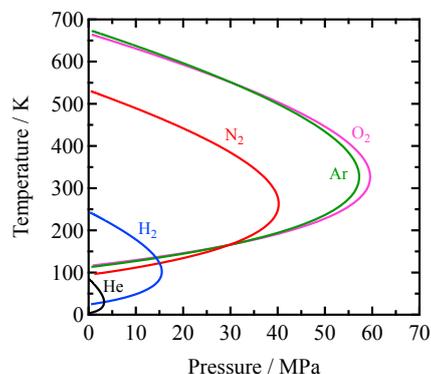


図 1 J-T inversion curves obtained with the SRK EoS.

(3) 開発した超臨界圧燃焼 CFD 技術の検証を行った。図 2 に、本解析（非理想モデル）結果、理想モデルによる解析結果（本研究で行った結果と先行解析 [3] で行われた結果）、そして実験結果 [4] の比較を示す。圧力条件に対する予混合気  $H_2/O_2/Ar$ （モル比：5.0/1.0/9.5）の質量燃焼速度の傾向が示されている。未燃予混合気の温度は 300 K である。圧力 15 から 25 atm で見られる負の依存性（圧力増加に対して質量燃焼速度が減少する）を含めて、実験結果の全体的な傾向は非理想モデル及び理想モデルいずれもよく捉えている。非理想モデルと理想モデルの結果を比較すると、20 atm 以下の低圧条件では両者がほぼ同じ予測値を示しているが、30 atm 以上の高圧条件では明確な差が見られるようになる。圧力 20 atm 付近から始まる質量燃焼速度の減少傾向は、理想モデルに比較して非理想モデルの方が実験の傾向を再現しているといえ、非理想性を考慮することの有効性が示された。

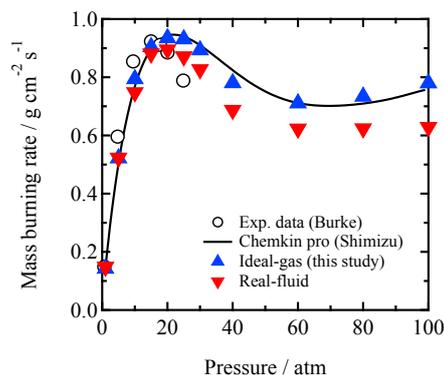


図 2 Comparison of the mass burning rate.

質量燃焼速度は密度と燃焼速度の積で表されるが、図 2 で示した非理想モデルと理想モデルの差は、燃焼速度の予測値の差に起因している（密度差は 1.0% 以下であるが、燃焼速度の差は 100 atm 条件で最大 20% 程度となる）。火炎前方の未燃予混合気の圧力と温度はモデル間でほぼ同じであることから、燃焼速度の差は未燃予混合気のエンタルピーの差に起因する。図 3 に示すように、予混合気  $H_2/O_2/Ar$  のエンタルピーを計算すると、圧力増加とともに非理想モデルで計算されたエンタルピーは理想モデルよりも小さい値となっていく。この予混合気では  $Ar$  が多くを占めるが、図 1 で示した J-T 反転曲線から、 $Ar$  のエンタルピーは圧力に対して負の依存性を持っており、図 3 の傾向と一致する。さらに、エンタルピー減少分が燃焼速度減少分と対応することも確認しており、エンタルピーを通して非理想性が表れることを明らかにした。また、非理想性がどのような傾向として表れるのかについて、J-T 反転曲線から事前に把握できることを示した。異なる予混合気  $H_2/O_2/He$ （モル比：1.40/1.00/9.25）でも同様の結論が得られており [1]、開発した超臨界圧燃焼 CFD 技術の妥当性が実証された。

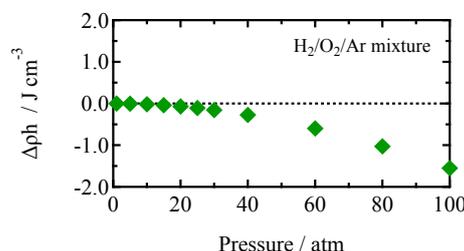
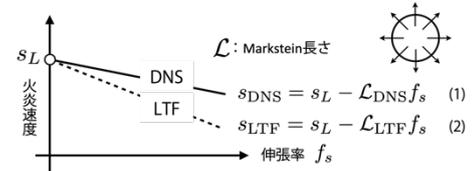


図 3 Deviation of unburnt-gas enthalpy of the real-fluid model from the ideal-gas values at 300 K.

(4) 研究実施者らは、詳細反応機構を含む有限反応率モデルを適用した燃焼 CFD 技術を開発してきた。化学反応方程式の強硬直性に対しては高速積分法、化学種数増加による輸送係数計算量の増加に対しては化学種バンドル法をそれぞれ開発した。本研究では、燃焼 CFD を効率的に行う上で、現在残された課題である空間解像度の問題を解決する。特に本研究で取り扱う高圧条件においては、火炎帯の厚さが周囲圧力に反比例するため、限られた計算格子点数で適切な解像が困難となり、火炎モデルの導入が不可欠である。

新たに開発した火炎モデルは、火炎帯拡大化 thickened flame (TF) モデル[5]に基づく。TF モデルは、粗い格子でも火炎帯を解像できるように拡散係数を人工的に大きくし、同時に反応率を調整（小さく）することで、火炎の特性で重要となる火炎（層流燃焼）速度を維持するモデルである。研究実施者らの先行研究[6]で、TF モデルに局所性を導入した localized thickened flame (LTF) モデルを提案した。本研究では、LTF モデルを乱流火炎場に適用するために重要となる伸張効果を導入した新しいモデル（LTF-S: LTF for stretched flame）[7,8]を提案し、その妥当性検証を行った。図 4 にモデル構築図を示す。LTF-S モデルでは、LES 空間フィルタリングによって発生する非解像余剰項を導出し、その余剰項が火炎速度を維持するという拘束条件（Markstein 長さを用いた伸張火炎速度の理論式）を満たすように項を構築した。既存の LTF モデルでは、火炎拡大化のため伸張効果を適切に予測することができない。LTF-S モデルでは、失われた伸張効果を補うよう新たに非解像余剰項を導入したものである。図 5 は、円筒伝播火炎問題（水素空気予混合ガス、常温常圧、当量比 1.0）において、DNS、LTF、LTF-S モデルで得られた火炎速度を比較したものである。DNS では格子幅 20e-6 m、一方 LTF と LTF-S モデルでは、その 8 倍粗い格子幅 160e-6 m を用いて計算を実施した。LTF モデルでは火炎速度を小さく見積もっており、火炎拡大化によって、伸張火炎の挙動が再現できないことがわかる。一方、伸張効果を有する LTF-S モデルは、粗い格子幅の計算でも DNS の解とほぼ一致しておりモデルの有効性が確認できる。図 5 で示された結果と同様に、異なる当量比条件（0.8, 1.5, 2.0）においても LTF-S モデルが DNS の解を再現しており、幅広い当量比条件で適用できることも確認された。この結果から、3 次元解析では少なくとも  $8 \times 8 \times 8$  (=512) 倍の計算負荷低減（時間方向に陽解法を使う場合には更に 8 倍で約 4000 倍）が期待でき、LTF-S モデルのインパクトは非常に大きい。

LTF-Sモデル：LES伸張火炎モデル



問題点：LTF火炎拡大化により、粗い格子において伸張率に対する火炎速度が再現できない

⇒ 火炎速度と伸張率が線形関係とする理論を利用し、Markstein長さを補正するモデルを提案

式(1)(2)から  $s_{LTF-S} = \left[ 1 + \frac{(\mathcal{L}_{LTF} - \mathcal{L}_{DNS}) f_s}{s_L - \mathcal{L}_{LTF} f_s} \right] s_{LTF}$

化学種質量保存式  $\frac{\partial \rho \tilde{Y}_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \tilde{Y}_s \tilde{u} - \rho \tilde{D}_s \nabla \tilde{Y}_s) = \tilde{\omega}_s$

フィルター反応率  $\tilde{\omega}_s = \tilde{\omega}_s + \tilde{\omega}_{s,urs}^{unstretch} + \tilde{\omega}_{s,urs}^{stretch}$

LTF-Sモデル  $\tilde{\omega}_{s,urs}^{stretch} = \frac{1}{1 + \chi} \left[ \frac{(\mathcal{L}_{LTF} - \mathcal{L}_{DNS}) f_s}{s_L - \mathcal{L}_{LTF} f_s} \right]$

図 4 Development of LTF-S model.

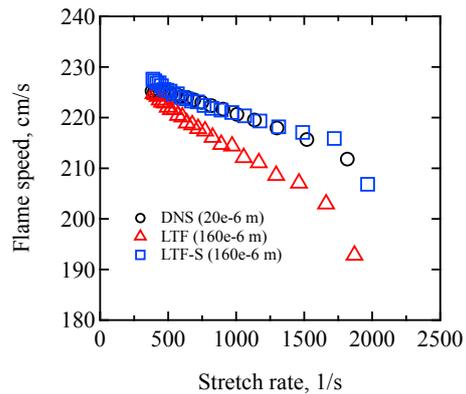


図 5 Comparison of stretched flame speed in a cylindrically propagating flame problem.

(5) 前項 (4) で検証に使った円筒伝播火炎では伸張効果として曲率のみが表れる。伸張効果には速度せん断の効果も含まれるため、火炎-渦干渉問題の解析を実施し、LTF-S モデルのさらなる検証を行った。この問題は乱流火炎の基本要素を含んでいるといえ、乱流火炎場に対する LTF-S モデルの適用性を確認できる。常温常圧、当量比 1.0 の水素空気予混合気条件で解析を実施した。設定した条件は、渦速度と渦半径から、燃焼ダイアグラムの thin reaction zones の条件に相当する。図 6 に渦干渉を受けた火炎形状の比較を示す。LTF-S（格子幅 100e-6 m）は、5 倍粗い格子幅にも関わらず DNS（格子幅 20e-6 m）の結果を良く再現しており、2 次元解析また時間方向も考慮すると計算負荷が約 75 倍低減された（LTF と LTF-S の格子幅は前項 (4) の問題と異なるが、これは渦を適切に解像する格子幅から決定された）。一方、LTF の結果では、特に渦によって大きく変形する火炎形状にずれが見られる。異なる燃料また一般乱流

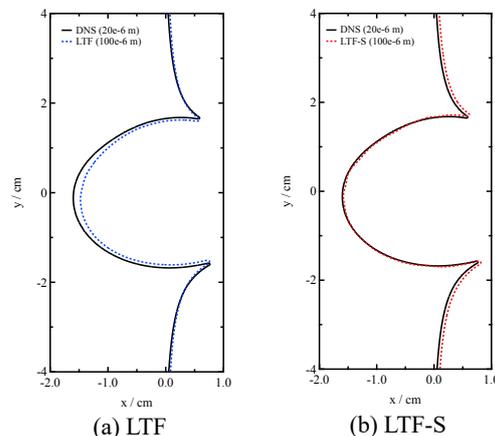


図 6 Comparison of flame shape in a flame-vortex interaction problem.

燃焼場への適用は今後の課題であるが、当初の目的であった粗い格子でも伸張火炎の挙動を精度良く捉える新しい火炎モデルの提案に成功した。

〈引用文献〉

- [1]. H. Terashima and M. Koshi, Prediction of propagating flames under high-pressure conditions with real-fluid combustion modeling, *Proceedings of the Combustion Institute*, 39, 1823–1831 (2023).
- [2]. 寺島洋史, 越光男, 超臨界圧下の燃焼流体モデリングについて, 第 59 回燃焼シンポジウム, オンライン, 2021.11.
- [3]. K. Shimizu, A. Hibi, M. Koshi, Y. Morii, N. Tsuboi, Updated kinetic mechanism for high-pressure hydrogen combustion, *Journal of Propulsion and Power* 27, 383–395 (2011).
- [4]. M.P. Burke, M. Chaos, Y. Ju, F.L. Dryer, S.J. Klippenstein, Comprehensive H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> kinetic model for high-pressure combustion, *International Journal of Chemical Kinetics*, 44, 444–474 (2012).
- [5]. O. Colin, F. Ducros, D. Veynante, T. Poinso, *Physic of Fluids*, 12, 1843–1863 (2000).
- [6]. H. Terashima, Y. Hanada, S. Kawai, A localized thickened flame model for simulations of flame propagation and autoignition under elevated pressure conditions, *Proceedings of the Combustion Institute*, 38, 2119–2126 (2021).
- [7]. C. Tongtong, 寺島洋史, 河合宗司, 伸張予混合火炎に対する新たな Thickened Flame Model の提案, 第 61 回燃焼シンポジウム, 秋田, 2023.11.
- [8]. C. Tongtong, H. Terashima, and S. Kawai, Applicability of a thickened flame model to stretched premixed flame propagation, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2023, July 9-13, 2023, Osaka, Japan.

## 5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Hiroshi Terashima, Mitsuo Koshi	4. 巻 39
2. 論文標題 Prediction of propagating flames under high-pressure conditions with real-fluid combustion modeling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	6. 最初と最後の頁 1823 ~ 1831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.proci.2022.08.094	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 Tomohito NAKATSUKASA, Taishi AMANO, Takahide ARAKI, Hiroshi TERASHIMA, Nobuyuki TSUBOI, Kohei OZAWA	4. 巻 1
2. 論文標題 Numerical Study of Cryogenic Hydrogen Jet in Crossflow under Supercritical Pressure: Comparison of Tandem and Twin Jets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Evolving Space Activities	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 Fujiwara Yuji, Tamaki Yoshiharu, Kawai Soshi	4. 巻 478
2. 論文標題 Fully conservative and pressure-equilibrium preserving scheme for compressible multi-component flows	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 111973 ~ 111973
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2023.111973	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 D. Muto, H. Terashima, T. Araki, and N. Tsuboi	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of a Recess on Coaxial Cryogenic Injections at Supercritical Pressure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Propulsion and Power	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) 10.2514/1.B38552	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28件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 C. Tongtong, H. Terashima, and S. Kawai
2. 発表標題 Applicability of a thickened flame model to stretched premixed flame propagation
3. 学会等名 ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 C.E. Samuel, C. Tongtong, H. Terashima, H. Nakamura, and J. Hayashi
2. 発表標題 Numerical investigation of flame holding and extinction characteristics of ammonia burner
3. 学会等名 The 33rd International Symposium on Transport Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Tateishi, R. Tanabe, M. Kawano, Y. Honda, T. Hara, M. Nakahara, A. Miyoshi, H. Terashima, D. Shimokuri,
2. 発表標題 Experimental Investigation on Laminar Flame Propagation and Two Stage Autoignition Phenomena of n-C7H16/air Pre-mixture under High Temperature/Pressure Conditions
3. 学会等名 Twentieth International Conference on Fluid Dynamics (ICFD) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Terashima, N. Ly, and M. Ihme
2. 発表標題 On the analysis of conservation- and pressure-equilibrium-preserving schemes for compressible real-fluid simulations
3. 学会等名 76th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Shimoyama, A. Kubota, and H. Terashima
2. 発表標題 Injection parameter identification for severe pressure oscillations in a high-pressure H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> rocket-type chamber
3. 学会等名 19th International Conference on Numerical Combustion (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 久保田惇史, 下山凌空, 寺島洋史
2. 発表標題 H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> ロケット型燃焼器の3次元流れ場解析
3. 学会等名 日本航空宇宙学会北部支部2024年講演会/第5回再使用型宇宙輸送系シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 三浦陸, 久保田惇史, 田中周作, 寺島洋史, 石向桂一
2. 発表標題 ロケットエンジン低温噴射による燃焼不安定性へのリセス長さの影響
3. 学会等名 日本航空宇宙学会北部支部2024年講演会/第5回再使用型宇宙輸送系シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 下山凌空, 久保田惇史, 寺島洋史
2. 発表標題 H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> ロケットエンジン低温噴射の噴射速度条件による燃焼振動への影響
3. 学会等名 第37回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 C. TongTong, 寺島洋史, 河合宗司
2. 発表標題 伸張予混合火炎に対する新たなThickened Flame Modelの提案
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Dou, 寺島洋史, 立石徳亜, 江崎大護, 下栗大右, 三好明, 原孝弥, 田所正, 河野通治
2. 発表標題 RCM 円筒容器内における n-C7H16/air 末端ガス自着火および圧力波強度の予測
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中周作, 小田大志, 星崎心吾, 寺島洋史
2. 発表標題 ガス給湯器濃淡バーナーにおける保炎・消炎現象の予測
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 寺島洋史, 中村寿, 林潤
2. 発表標題 アンモニア非予混合バーナー保炎消炎機構における再循環領域の重要性について
3. 学会等名 日本機械学会 熱工学コンファレンス2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立石徳亜, 田邊凌志, 河野通治, 本田雄哉, 原孝弥, 中原真也, 三好明, 寺島洋史, 下栗大右
2. 発表標題 高温高圧条件における定容容器内火炎伝播・末端ガス自着火挙動の解析
3. 学会等名 日本機械学会 熱工学コンファレンス2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 久保田惇史, 寺島洋史, 田中周作
2. 発表標題 ロケット型燃焼器低温噴射による燃焼振動メカニズム
3. 学会等名 第55回流体力学講演会/第41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 2023年

1. 発表者名 坪井伸幸, 荒木天秀, 寺島洋史
2. 発表標題 圧力平衡を維持する極低温遷臨界・超臨界多成分流体の解析: ハイブリッド法について
3. 学会等名 第55回流体力学講演会/第41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 2023年

1. 発表者名 H. Terashima and M. Koshi
2. 発表標題 Prediction of propagating flames under high-pressure conditions with real-fluid combustion modeling
3. 学会等名 39th International Symposium on Combustion (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野雅史, 寺島洋史
2. 発表標題 超臨界圧下における気液平衡を考慮した数値モデリング
3. 学会等名 第36回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊皓介, 寺島洋史
2. 発表標題 当量比がノッキング燃焼に与える影響についての2次元数値解析
3. 学会等名 第36回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坪井伸幸, 荒木天秀, 寺島洋史
2. 発表標題 超臨界圧極低温流れにおける数値解析: 接触面の安定性および温度分布の評価について
3. 学会等名 第36回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中司智仁, 寺島洋史, 坪井伸幸
2. 発表標題 超臨界圧直交極低温水素噴流の軌跡スケージングについて
3. 学会等名 日本機械学会 第100期 流体工学部門 講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瓦井佑樹, 寺島洋史
2. 発表標題 深層学習による超臨界非理想熱・輸送物性モデルの計算高速化
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田徹, 寺島洋史
2. 発表標題 H2/O2ロケット型燃焼器において低温燃料噴射が引き起こす大きな燃焼圧力振動
3. 学会等名 第54回流体力学講演会/第40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 2022年

1. 発表者名 Y. Fujiwara, Y. Tamaki, and S. Kawai
2. 発表標題 Satisfying conservation and pressure equilibrium in compressible multi-component flow simulation: a novel discretely compatible scheme
3. 学会等名 APS DFD 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原悠嗣、玉置義治、河合宗司
2. 発表標題 圧縮性多成分流体における圧力平衡と保存を両立する界面捕獲法の提案
3. 学会等名 第36回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Terashima and M. Koshi
2. 発表標題 Prediction of propagating flames under high-pressure conditions with real-fluid combustion modeling
3. 学会等名 The 39th International Symposium on Combustion (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Ota, H. Terashima, and N. Oshima
2. 発表標題 Mechanisms for severe combustion instabilities induced by low-temperature fuel injection of an H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> rocket-type combustor
3. 学会等名 AIAA SciTech 2022 Forum (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大田康就, 寺島洋史, 河合宗司
2. 発表標題 高压水素乱流予混合火炎への詳細反応LTF火炎モデルの適用
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺島洋史, 越光男
2. 発表標題 超臨界圧下の燃焼流体モデリングについて
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2021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
研究 分担 者	河合 宗司  (Kawai Soshi)  (40608816)	東北大学・工学研究科・教授    (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------