

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02085

研究課題名（和文）燃焼振動の非線形相互作用の基礎的解明：複雑系数理手法によるアプローチ

研究課題名（英文）Fundamental elucidation of nonlinear interaction during combustion oscillations

研究代表者

後藤田 浩（Gotoda, Hiroshi）

東京理科大学・工学部機械工学科・教授

研究者番号：00434712

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、力学系、記号力学、同期現象と複雑ネットワークなどを取り扱う先進的な複雑系数理手法を導入し、燃焼振動の時空間ダイナミクスと非線形相互作用の一端を明らかにした。また、機械学習の一つであるサポートベクトルマシンを用いた燃焼振動の新しい予兆検知法を提案し、本研究の工学的な応用展開の可能性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

燃焼振動による強い圧力変動が生じると、燃焼器の致命的な破損やライフサイクルの低下を引き起こす。そのため、燃焼振動のダイナミクスの基礎的な解明や予兆検知技術は発電用ガスタービンエンジンや航空エンジンのみならず、ロケットエンジン燃焼器開発においても重要である。本研究で得られた研究成果は、熱工学分野の学理体系化に大きく繋がるものである。

研究成果の概要（英文）：We have experimentally elucidated the spatiotemporal dynamics and nonlinear interaction during combustion oscillations in a swirl-stabilized turbulent combustor using a sophisticated complex systems approach based on dynamical systems, symbolic dynamics, synchronization and complex networks. We have also proposed a novel methodology to capture a precursor of combustion oscillations using a support vector machine in terms of machine learning.

研究分野：熱工学

キーワード：燃焼振動 複雑ネットワーク 同期

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

燃焼振動は音響場と乱流火炎の発熱率変動の相互干渉によって保持され、その現象の性質から、熱音響自励振動として、燃焼分野のみならず、応用物理分野でも知られている。燃焼振動による強い圧力変動が生じると、燃焼器の致命的な破損やライフサイクルの低下を引き起こす。そのため、燃焼振動のダイナミクスの基礎的な解明や予兆検知技術は発電用ガスタービンエンジンや航空エンジンのみならず、ロケットエンジン燃焼器開発においても重要である[1]。近年、複雑系科学の基礎理論とその数理解析法の体系化が進み、複雑系科学が燃焼振動のダイナミクスの基礎的解明と予兆検知法の構築に重要になりつつある[2]。

2. 研究の目的

本研究では、複雑ネットワークや同期現象などを取り扱う先進的な複雑系科学の基礎理論を導入し、燃焼振動の時空間ダイナミクスと非線形相互作用の基礎的解明を主目的とする。また、機械学習を用いた燃焼振動の新しい予兆検知法も提案し、統計的学習論の視点から本研究の工学的な応用展開の可能性を探求する。

3. 研究の方法

3.1 実験装置と実験方法

本研究の実験装置は、予混合室、ノズル、燃焼室、冷却部から構成される[3]。燃焼室入口には軸流スワローが組み込まれており、予混合気には旋回流が与えられる。燃料にはメタン、酸化剤には空気をを用いる。本研究では、圧力変動と発熱率変動の非線形相互作用を調べるために、圧力変動とOH*自発光強度変動の同時計測を行う。圧力変動は、圧力トランスデューサ(JTEKT 製 PD104K-10kPa)を用いて測定される。OH*自発光強度はバンドパスフィルタ(朝日分光 MZ0310、透過中心波長 310 nm、半値幅 10 nm)と UV レンズ(Nikon UV-105 mm F4.5)、Image intensifier(浜松ホトニクス C9548-03)を取り付けた高速度カメラ(Photron FASTCAM SA-Z)を用いて撮影される。ただし、OH*自発光強度画像の撮影範囲を 100 mm×100 mm とする。OH*自発光強度画像と燃焼室内の圧力変動はパルスジェネレータ(Quantum COMPOSERS MODEL9212)を用いて同時に計測される。燃焼振動の予兆を検知するために、バンドパスフィルタが取り付けられたフォトマルチプライヤ(Hamamatsu Photonics K. K. H10722-210)を用いて OH*自発光強度変動を測定する。圧力変動と OH*自発光強度変動のサンプリング周波数を 6 kHz とする。当量比 ϕ を変化させることで、安定燃焼から燃焼振動へ燃焼状態を遷移させる。

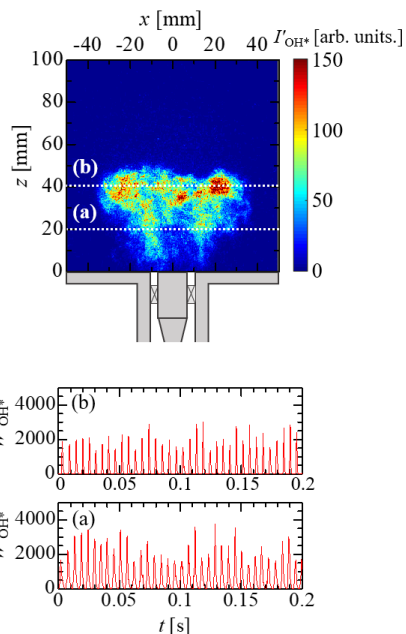


図1 OH*自発光強度画像と空間2次モーメント W_{OH^*} の時間変化(a) $z = 20$ mm, (b) $z = 40$ mm. ただし、当量比 $\phi = 0.81$ とする(主な発表論文等〔雑誌論文〕[7]).

3.2 解析手法

同期パラメータは、複雑ネットワーク内の局所的な頂点間の同期程度を評価するための重要な指標である[4]。本研究では、同期パラメータ r_i を用いて、OH*自発光強度変動の時空間ダイナミクスの同期を明らかにする。図1で示されるように、OH*自発光強度画像 $I_{OH^*}(x, z)$ の空間二次モーメント $W_{OH^*} (= \langle |I_{OH^*}(x, z) - \langle I_{OH^*}(x, z) \rangle|^2 \rangle)$ に着目する。ただし、 $\langle \cdot \rangle$ を x 軸方向に関する平均とする。枝の重みありネットワークの頂点を z 軸方向の各グリッド z_i とし、頂点間を結ぶ枝を結合強度 w_{ij} とする。次式を用いて、 r_i を求める。

$$r_i = \frac{1}{2N_i} \sum_j \sum_j A_{ij}$$

$$A_{ij} = \begin{cases} w_{ij} r_{ij} & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases}$$

ただし、 N_i を枝の総本数、 r_{ij} を位相同期パラメータとする。 $0 \leq r_i \leq 1$ をとり、 $r_i = 1$ はネットワーク上のすべての振動子が位相同期状態であることに対応する。また、本研究では、重みを考慮したネットワークの強度分布 $s_i (= \sum_j w_{ij} r_{ij})$ を求める。ただし、 w_{ij} には cross recurrence plots [5]の決定度 D_r を適用する。

本研究では、圧力変動と発熱率変動の非線形相互作用を取り扱うための新しい特性量として、同期インデックスを提案する。異なる位相空間内に埋め込まれた物理量の動的挙動の類似性を定量化する joint probability of recurrence J_r [5]と、圧力変動およびOH*自発光強度変動の位相同期パラメータ r_{pq} の積として、同期インデックス $S_I (= J_r r_{pq})$ を求める。ただし、本研究では、圧力変動とOH*自発光強度変動の空間二次モーメント W_{OH^*} を用いる。 $0 \leq S_I \leq 1$ をとり、 S_I が増加すると圧力変動と発熱率変動の非線形相互作用は強まる。

本研究では、燃焼振動の予兆検知を行うために、記号力学に着目した推移ネットワークを用い

る。推移ネットワークでは、時系列の順列パターン[6]はネットワークのノードに対応し、ノード間の推移はリンクで表現される。推移ネットワークは重み付き有向ネットワークであり、その隣接行列はマルコフ連鎖に基づく推移確率行列から成る[7]。本研究では、圧力変動 p' と OH^* 自発光強度変動 I_{OH^*} から推移ネットワークを構築する。それぞれの時系列の順列パターンとその推移の組み合わせ Π を $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ に分類する。 Π はネットワークのノードに対応し、 $\Pi_j \rightarrow \Pi_k$ に推移する確率から推移ネットワークを構築する。本研究では、16通りの推移パターンを考慮する。主成分分析を用いて16個の推移確率を次元圧縮し、第一主成分 S_1 と第二主成分 S_2 を得る。

サポートベクトルマシンは、統計的学習理論に基づくパターン認識法であり、教師あり機械学習の一つとして広く知られている[8]。サポートベクトルマシンはマージン最大化に着目して、教師データから汎化誤差が最小となるように、クラスを分類する手法である。決定関数の最適化問題を考えることにより、状態空間内の分類境界である超平面を決定する。Karush-Kuhn-Tucker条件下において、ラグランジュ関数を最大化することで、決定関数が得られる。本研究では、推移確率の主成分平面に教師無し学習である k 平均法を適用し、3つの燃焼状態を(i) 安定燃焼、(ii) 安定燃焼から燃焼振動への遷移、(iii) 燃焼振動にクラスタリングする。クラスタリングされた主成分平面にサポートベクトルマシンを適用することで、燃焼状態の境界が定まる。

4. 研究成果

図2に複雑ネットワークの強度 s の空間分布、 r_l と当量比 ϕ の関係を示す。 ϕ の増加に伴い s の高い領域が緩やかにノズル出口付近に近づく。さらに ϕ を増加させ、間欠的な燃焼振動が発生する $\phi = 0.76$ になると s の高い領域が広範囲に及び、そして、 $\phi > 0.76$ においてノズル出口付近から $z = 50$ mm までの領域で s が高い値をとる。他方、 r_l は当量比の増加に伴って緩やかに増加し、発達した燃焼振動が形成される $\phi > 0.76$ で r_l は約 0.4 に収束する。このことは、燃焼振動の発生により、渦崩壊による再循環流とダンプ領域の循環流とのせん断層において、強い相関をもつ頂点 z_l が形成されることを意味している。Gomez-Gardenes et al. [4]は、 $r_l \geq 0$ のとき、ネットワーク上に局所的な位相同期状態が存在し、 r_l の増加は位相同期の発達を示すことを報告している。Gomez-Gardenes et al. [4]の研究に基づく、燃焼振動の発生に伴うせん断層での OH^* 自発光強度変動の周期性の増加により、複雑ネットワーク上の頂点群に時空間位相同期が形成されていると考えられる。図3に同期インデックス S_l 、レイリーインデックス R_l の空間分布と ϕ の関係を示す。燃焼振動が生じる $\phi \geq 0.77$ において、 $z = 10 \sim 40$ mm で S_l は高くなる。この領域は、 R_l の空間分布で示される燃焼振動の駆動領域とほぼ対応する。このことから、 S_l は燃焼振動の駆動領域を特定することが可能である。 R_l の値は W'_{OH^*} や p' の大きさに依存するのに対して、 S_l は 0 から 1 の範囲をとる。これらの結果から、本研究で提案する同期インデックスは圧力変動と発熱率変動の非線形相互作用が強く現れる燃焼振動の駆動領域を抽出することが可能である。

サポートベクトルマシンによって得られた特徴空間を図4(A)に示す。安定燃焼(青色)、遷移(黄色)、燃焼振動(赤色)の3つの領域に燃焼状態を分類することが可能である。図4(B)は安定燃焼から燃焼振動へ遷移させたときの p', I_{OH^*} と ϕ の時間変化を示したものである。16 $s \leq t \leq 29$ s で燃焼状態は安定燃焼から遷移領域に変化する。そして、 ϕ の増加に伴って燃焼振動へ至る。このことは、推移ネットワークとサポートベクトルマシンを組み合わせた手法が燃焼状態の重要な遷移過程を捉えていることを示している。図5に燃焼振動の回避時の特徴空間、 $p', I_{\text{OH}^*}, \phi$ と二次燃料流量

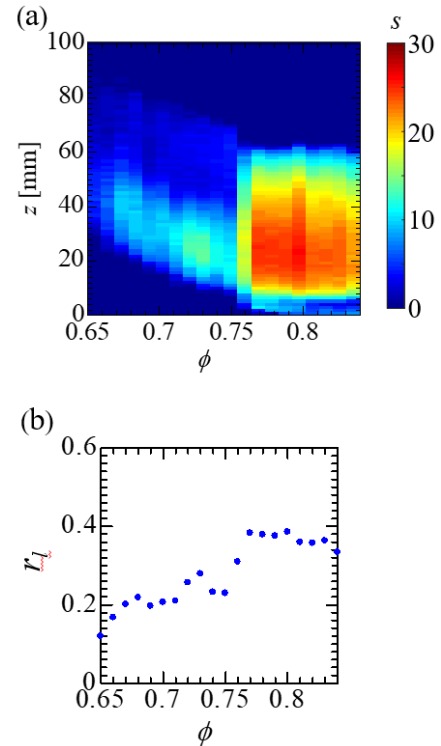


図2(a) 複雑ネットワークの強度 s と当量比 ϕ , (b) 同期パラメータ r_l と当量比 ϕ の関係(主な発表論文等〔雑誌論文〕)

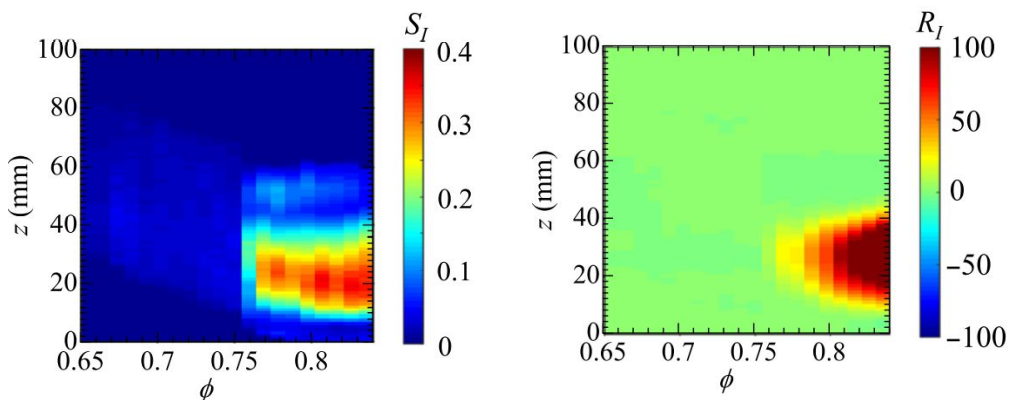


図3(a) 同期インデックス S_l と当量比 ϕ の関係, (b) レイリーインデックス R_l と ϕ の関係(主な発表論文等〔雑誌論文〕 [7]).

$Q_{\text{secondary,air}}$ の時間変化を示す。燃焼状態が遷移領域に入ったことを検知した後 ($t = 21.3$ s), 二次空気噴射を行うことで燃焼振動が十分抑制されている。このことから, 本研究で提案する方法論は旋回流燃焼器内の燃焼振動の予兆検知と回避に有用であると言える。

本研究では, 力学系理論, 同期理論と複雑ネットワークを組み合わせた独自の方法論を提案し, 燃焼振動の駆動領域と非線形相互作用の一端を明らかにした。また, 推移ネットワークと教師あり機械学習であるサポートベクトルマシンの組み合わせた方法論が, 燃焼振動の予兆検知と回避に有用であることを明らかにした。これらの研究成果は, 米国物理学会が出版する学術誌 *Physical Review Applied* に掲載され, 本研究の世界的な位置づけは高いものと思われる。また, 本研究課題では, 記号力学に基づく Jensen-Shannon 複雑さ解析[9]とサポートベクトルマシン(主な発表論文等〔雑誌論文〕[6]), ならびに推移ネットワークと自己組織化マップ(主な発表論文等〔雑誌論文〕[5])を組み合わせた方法論を用いて燃焼振動の予兆検知と回避を行っている。これらの研究内容は日本燃焼学会誌の特集号「機械学習技術の燃焼分野への応用」で紹介されている(主な発表論文等〔雑誌論文〕[1])。さらに, 乱流ネットワーク[10]を次元圧縮させた動的ネットワークに着目し, その挙動から燃焼振動の抑制過程を明らかにしている(主な発表論文等〔雑誌論文〕[3])。そして, 位相空間内の軌道不安定性に基づく非線形予測法から発熱率変動と圧力変動の因果関係の推定も行っている。この研究成果は米国物理学協会の学術誌 *Chaos* に掲載されている。今後, 記号力学に基づく先進的な因果解析を導入することで, 圧力変動, 発熱率変動と速度変動間の非線形相互作用を解明していく。また, 符号化されたリカレンスプロット(主な発表論文等〔雑誌論文〕[2])と深層学習の一つである畳み込みニューラルネットワークを組み合わせた独自の方法論を構築し, 燃焼振動の予兆検知を行っていく。これらの研究によって得られる成果は, 熱工学分野の学理体系化に大きく繋がるのが期待される。

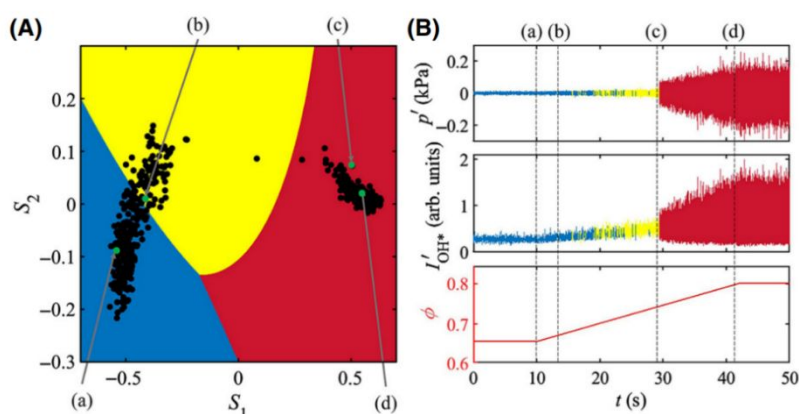


図 4 (A) 第一主成分 S_1 と第二主成分 S_2 から成る特徴空間. (B) 圧力変動 p' と OH^* 自発光強度変動 I'_{OH^*} の時間変化. 青色を安定燃焼, 黄色を安定燃焼から燃焼振動への遷移状態, 赤色を燃焼振動とする. (a) $t = 10.0$ s, (b) $t = 13.4$ s, (c) $t = 29.6$ s, (d) $t = 42.0$ s (主な発表論文等〔雑誌論文〕[7]).

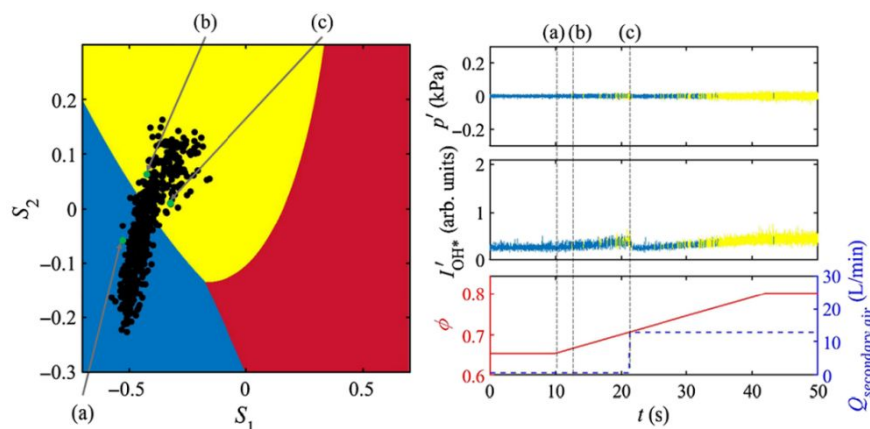


図 5 (A) 第一主成分 S_1 と第二主成分 S_2 から成る特徴空間. (B) 圧力変動 p' と OH^* 自発光強度変動 I'_{OH^*} の時間変化. ただし, 燃焼振動の検知後に, 二次空気を噴射させている. (a) $t = 10.0$ s, (b) $t = 12.6$ s, (c) $t = 21.3$ s (主な発表論文等〔雑誌論文〕[7]).

参考文献

- [1] T. C. Lieuwen, *Unsteady Combustor Physics* (Cambridge University Press, 2012).
- [2] R. I. Sujith and S. A. Pauer, *Thermoacoustic instability: A complex systems perspective* (Springer-Verlag, 2021).
- [3] S. Murayama, H. Kinugawa, I. T. Tokuda, and H. Gotoda, *Physical Review E*, vol. 97, 022223 (2018).
- [4] J. Gomez-Gardenes, Y. Moreno, and A. Arenas, *Physical Review Letters*, vol. 98, 034101 (2007).
- [5] N. Marwan, M. C. Romano, M. Thiel, and J. Kurths, *Physics Reports*, vol. 438, 237 (2007).
- [6] C. Bandt and B. Pompe, *Physical Review Letters*, vol. 88, 174102 (2002).

- [7] M. McCullough, M. Small, T. Stemler, and H. Ho-Ching Iu, *Chaos*, vol. 25, 053101 (2015).
- [8] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning* (Springer-Verlag, 2006).
- [9] A. Rosso, H. A. Larrondo, M. T. Martin, A. Plastino, and M. A. Fuentes, *Physical Review Letters*, vol. 99, 154102 (2007).
- [10] K. Taira, A. G. Nair, and S. L. Brunton, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 795, R2 (2016).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6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 後藤田浩	4. 巻 124
2. 論文標題 機械学習の燃焼流への応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会誌	6. 最初と最後の頁 22-25
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 Kazuki Asami, Takeshi Kawada, Sena Kishiya, Hiroshi Gotoda	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Dynamic behavior and driving region of thermoacoustic combustion oscillations in a swirl-stabilized turbulent combustor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Europhysics Letters	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1209/0295-5075/ac6a07	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 Takuya Kurosaka, Shinga Masuda, Hiroshi Gotoda	4. 巻 31
2. 論文標題 Attenuation of thermoacoustic combustion oscillations in a swirl-stabilized turbulent combustor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chaos	6. 最初と最後の頁 73121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0070526	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 Yuhei Shinchi, Naohiro Takeda, Hiroshi Gotoda, Takeshi Soji, Seiji Yoshida	4. 巻 59
2. 論文標題 Early detection of thermoacoustic combustion oscillations in staged multisector combustor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIAA Journal	6. 最初と最後の頁 4086-4093
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2514/1.J060268	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 増田晋河, 浅見憲輝, 八條貴誉, 後藤田浩	4. 巻 63
2. 論文標題 旋回型燃焼器内に形成される燃焼振動の予兆検知と回避 -記号力学, 複雑ネットワークと機械学習を組み合わせた方法論の導入-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 30-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.63.203_30	査読の有無 無
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 Takayoshi Hachijo, Shinga Masuda, Takuya Kurosaka, Hiroshi Gotoda	4. 巻 29
2. 論文標題 Early detection of thermoacoustic combustion oscillations using a methodology combining statistical complexity and machine learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chaos	6. 最初と最後の頁 103123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5120815	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 Tsubasa Kobayashi, Shogo Murayama, Takayoshi Hachijo, Hiroshi Gotoda	4. 巻 11
2. 論文標題 Early detection of thermoacoustic combustion instability using a methodology combining complex networks and machine learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 64034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.11.064034	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 Shogo Murayama and Hiroshi Gotoda	4. 巻 99
2. 論文標題 Attenuation behavior of thermoacoustic combustion instability analyzed by a complex-network-and synchronization-based approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 52222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.99.052222	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11件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 森洋輔, 黒坂拓也, 後藤田浩
2. 発表標題 複雑ネットワーク理論に基づく燃焼振動の非線形相互作用の基礎的解明 - 熱音響ネットワークの導入-
3. 学会等名 日本機械学会 第27期関東支部総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤田浩
2. 発表標題 燃焼不安定 × 機械学習
3. 学会等名 日本機械学会 機械学習 × 熱・流体工学の最先端（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅見憲輝, 増田晋河, 後藤田浩
2. 発表標題 記号力学と機械学習を組み合わせた燃焼振動の予兆検知と回避
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田晋河, 八條貴誉, 後藤田浩
2. 発表標題 統計的複雑さと機械学習を用いた燃焼振動の事前検知と回避
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 黒坂拓也, 村山聖悟, 後藤田浩
2. 発表標題 燃焼振動の非線形相互作用の基礎的解明
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 Takayoshi Hachijo, Tsubasa Kobayashi, Shogo Murayama, Hiroshi Gotoda
2. 発表標題 Detection methodology of thermoacoustic combustion instability in a turbulent combustor using complex network and machine learning
3. 学会等名 11th Mediterranean Combustion Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤田浩
2. 発表標題 サポートベクトルマシーンと燃焼振動の予兆検知
3. 学会等名 日本燃焼学会 連載講座 AI 第2回 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒坂拓也, 村山聖悟, 後藤田浩
2. 発表標題 複雑ネットワーク理論を用いた燃焼振動抑制過程の特徴化
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinga Masuda, Tsubasa Kobayashi, Hiroshi Gotoda
2. 発表標題 Early detection and prevention of blowout in a laboratory-scale gas-turbine model combustor using complex network
3. 学会等名 9th European Combustion Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森洋輔, 黒坂拓也, 後藤田浩
2. 発表標題 旋回型乱流燃焼器で発生する燃焼振動の非線形相互作用
3. 学会等名 熱工学コンファレンス 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森洋輔, 黒坂拓也, 後藤田浩
2. 発表標題 二次空気噴射による燃焼振動の抑制過程の基礎的解明
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1件

1. 著者名 宮野尚哉, 後藤田浩	4. 発行年 2020年
2. 出版社 サイエンス社	5. 総ページ数 186
3. 書名 時系列解析入門[第2版] 線形システムから非線形システムへ	

〔産業財産権〕

〔その他〕

プレスリリース

[1] 後藤田浩,小林翼,村山聖悟,八條貴誉, 複雑ネットワークと機械学習を用いて燃焼振動の予兆検知に成功 ~ 燃焼工学におけるヘルスマニタリング技術の新展開~, 東京理科大学 プレスリリース, https://www.tus.ac.jp/today/archive/20190619003_1.html, 2019年6月.

東京理科大学 研究者情報データベース

<https://www.tus.ac.jp/ridai/doc/ji/RIJIA01User.php?act=nam&kin=pap&kbn=g&diu=6b4f>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------