

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06070

研究課題名(和文)熱音響機関のエントロピー生成と熱効率

研究課題名(英文)Entropy generation and thermal efficiency of thermoacoustic engine

研究代表者

長谷川 真也 (Hasegawa, Shinya)

東海大学・工学部・准教授

研究者番号：30580500

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,000,000円

研究成果の概要(和文)：熱音響現象におけるエントロピー生成 S の測定を通じて、現象を評価、理解することを試みた。まず熱音響機関を対象として、熱境界層厚さ δ に対する流路半径 r の比を変更しながら熱効率と S を測定した。その結果、熱効率の最大点における r/δ と S の最少点における r/δ は実験範囲において概ね一致した。また、熱音響自励振動を対象に強制同期/非同期時の S を計測した。その結果、強制同期/非同期にヒステリシスが生じる領域においては、同期状態においては S が大幅に小さくなる結果を得た。以上の結果は、熱音響現象で生じる多様な現象を見通し良くとらえるために、 S の計測が有効であることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱音響現象におけるエントロピー生成の測定を行うことにより、熱音響機関の熱効率の低減に寄与する要素の検討や、熱音響自励振動を対象とした外力による強制同期/非同期の分岐の検討が可能となった。本研究では熱音響機関の熱効率や、熱音響自励振動における強制同期に着目したが、多様な非線形ダイナミクスにおいてもエントロピー生成の測定を行うことにより、従来までの力学的な側面からの理解に加え、熱力学という別の側面から現象の分析・理解ができる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to evaluate and understand thermoacoustic phenomena by measuring entropy production S . First, we measured the thermal efficiency and S for a thermoacoustic engine while changing the ratio of the channel radius r to the thermal penetration depth δ . As a result, r/δ at the maximum point of thermal efficiency and r/δ at the minimum point of S approximately matched in the experimental range. Moreover, we measured S of the thermoacoustic self-oscillation during forced synchronization/asynchronization. As a result, S was significantly reduced in the synchronous state in the region where hysteresis occurred in the forced synchronization/asynchronization. The results above show that the measurement of S is effective in order to understand the thermoacoustic phenomena clearly.

研究分野：熱音響工学

キーワード：熱音響現象 エントロピー生成 熱効率 同期現象 エネルギー変換 非線形振動

1. 研究開始当初の背景

日常の中で我々にとって馴染み深い自由空間中を伝播する音波は、周囲に熱交換する媒質が存在しないために熱力学的に断熱的な過程を経験する。一方で熱境界層厚さ δ 程度の内半径 r を有する細管流路(以降蓄熱器と記載)を伝播する音波は、自由空間中を伝播する音波とは違い管壁と熱交換を経験する。このとき、蓄熱器の軸方向に閾値を超える急激な温度勾配 dT_m/dx を与え(T_m : 断面平均温度, x : 軸方向座標), 系を平衡状態から遠ざけると、管壁と流体の間での相互作用により管内気柱の「自励振動」が生じ、「熱流 Q (エントロピー流 S と T_m の積) と仕事流 W (音響パワー) のエネルギー変換」が行われる。この現象は熱音響現象と呼ばれる。

「熱音響現象」は熱を仕事に変換する機関、「熱音響機関」と見なすことが出来る。この視点から現象を眺めると、熱音響機関は「理想的」にはカルノーサイクルを実行可能な熱機関に分類することが出来る。また可動部を本質的に持たないために、ローコストであること、さらに多様な熱源を利用可能な外燃機関であることが期待され、排熱回生デバイスとして、多くの研究が行われている。ただし、現実の熱音響機関では、振動流による粘性散逸や熱拡散により不可逆性が生じ、カルノー効率より熱効率 η は低下する。熱音響機関の廃熱回生デバイスとしての実用化は、如何に高効率化を実現するかに大きく左右されるため、上述の不可逆性の低減は重要な課題である。系の不可逆性はエントロピー生成 ΔS を測定することで把握することが出来るが、熱音響現象における定常的な振動下では空間的な S の増加は ΔS に等しい。よって ΔS は実際の熱音響現象でも観測可能な物理量である。以上より熱音響現象で生じる不可逆性の指標として ΔS を計測、解析することで η の向上や低下の理由の特定が可能であると考えられる。

一方で熱音響現象を熱力学的に平衡でない状態にある開放系(散逸構造)が散逸(エントロピー生成)する過程で出現したパターンであると捉えることもできる。実際に熱音響現象では散逸構造系で特徴的なさまざまな非線形ダイナミクス、例えば、同期現象、カオス振動などが生じる。その中でも特に同期現象は、燃焼器内の自励振動音波に由来する異常振動燃焼の抑止を目的とした精力的な研究がなされており、実用時の波及が広い分野であるといえる。非線形ダイナミクスとして熱音響現象を眺めると、熱音響現象は「自励振動周波数や、蓄熱器における温度勾配を実験で変化させることが比較的容易であり、実験者がある程度任意に平衡状態からの距離を調整できる」という特徴を有する。よって、熱音響現象は非線形ダイナミクス系の実験検証土台として汎用性があると言える。これまで、非線形ダイナミクス系の理解は、主に位相空間や分岐図などの力学的側面よりなされており、実際に音響・機械・電気・生物など多くの系で理論的、実験的検証がなされている。通常力学系では ΔS の測定は容易ではないが、一方、 ΔS を測定可能な熱音響現象を実験対象とすることで、非線形ダイナミクスを熱力学的な新しい視点から捉えられる可能性がある。

本研究では熱音響現象における ΔS の測定と解析を行うことで「熱音響機関のエントロピー生成と熱効率の関係」という熱機関を対象とした内容と、「熱音響自励振動における同期現象」という非線形ダイナミクスを対象とした内容を、評価、理解することを試みた。

2. 研究の目的

(1) 「熱音響機関のエントロピー生成と熱効率」について

熱音響機関は蓄熱器にて Q と W のエネルギー変換を行う熱機関であるために、 S を不可逆性の視点として用いることで、 η の向上や低下の理由の特定が可能であると考えられる。蓄熱器で行われるエネルギー変換は定性的には δ に対する r の比で理解することができる。 $r \ll \delta$ の場合には、 Q と W のエネルギー変換は等温的に行われる。一方で、 $r \gg \delta$ の場合には断熱的となるため、 Q と W のエネルギー変換は行われない。よって熱音響現象は概ね $r/\delta < 10$ の領域で生じる。実際に多くの先行研究において、系に対して r/δ を適切に設定することが η を高くするために必要であることが示されている。しかしながら、どの程度の r/δ で η が最大となるか自明ではない。また実験にて r/δ を変化させ、その他の実験条件を同一とした場合の η を測定した例はほとんどない。本研究では蓄熱器の上流と下流に対置したリニアモーターを独立して用いて作動流体を強制加振することで、任意の音場を蓄熱器に形成する。また装置内に封入した作動気体の平均圧を変化させることによって δ を変更しながら蓄熱器における ΔS 並びにその際の η を実験にて測定する。さらに富永らによって確立された熱音響理論を用いて同条件における解析を実施し、蓄熱器でエントロピーが生成された要因を特定する。

(2) 「熱音響自励振動に対する強制同期時のエントロピー生成」

光パルスを放射するホタルや、真空管発振器、振り子時計などは、内部からのエネルギー供給で散逸を補うことにより振動を維持する自励振動子である。ホタルの同期発光や、振り子時計の同期など、自励振動子では多様な同期現象を見ることが出来る。同期現象の中でも、自励振動子に周波数の異なる外力を加えることで周波数の一致が起こる現象を強制同期と呼ぶ。強制同期のメカニズムは Van der pol 振動子によって数学的に説明され、電気回路を用いて実験的にも数多く確認されている。これまでの強制同期に関する研究では位相空間や分岐図を用いることで、主に力学的側面からの理解がなされてきた。一方、熱音響現象は熱力学的サイクルを有するため、その自励振動における強制同期も ΔS の測定という、熱力学的アプローチから理解できる可能性がある。本研究では熱音響自励振動子を対象に、スピーカーを用いて周波数の異なる外力を入力したときの蓄熱器における ΔS の測定を行い、強制同期/非同期についての比較を行う。

3. 研究方法

(1) 「熱音響機関のエントロピー生成と熱効率」について

エントロピー生成および熱効率の計測

r/δ を変化させ、その他の実験条件を同一としたときの η と ΔS を実験にて測定するために、Fig. 1 の実験装置を用いた。本研究の実験装置は導波管および熱音響コア（低温側熱交換器、蓄熱器、高温側熱交換器からなる）と対向し配置したリニアモーターで構成した。なお本装置では、熱音響コア部まわりの輻射防止板の設置並びに、真空断熱を行うことによって、コアから外界への放熱量を減らす構造とした。導波管の直径は 38.4 mm、蓄熱器および 2 つの熱交換器の直径は 40 mm である。蓄熱器はエッチングメッシュ（材質ステンレス、流路径 $2r = 0.2$ mm、板厚 0.03 mm）を軸方向に 90 mm 積層して使用し、熱交換器は銅製、矩形流路の短辺 0.5 mm、フィン厚さ 0.1mm、軸方向長さ 30mm とした。低温側熱交換器の周りには冷却水を循環、高温側熱交換器にはセラミックヒーターを内蔵し、実験時には蓄熱器低温端温度 $T_C = 293 \pm 3$ K、蓄熱器高温端温度 $T_H = 573 \pm 3$ K となるよう調整した。作動気体はヘリウムとし、管内の平均圧を 0.25 MPa ~ 3.0 MPa の範囲で変更する事で δ を変更した。このときの r/δ は蓄熱器軸方向での平均温度を $(T_C + T_H)/2$ として計算すると、0.104 ~ 0.360 にあたる。さらに対向して配置したリニアモーターの振幅と位相を独立に調整することで、全ての実験において音場条件を統一した。音場計測には熱音響コア前後に 4 本ずつ取り付け付けた圧力センサの測定結果から Two-sensor 法を用いた。このとき熱音響コア上流導波管端面の比音響インピーダンス $Z (= P/U)$ を自由空間中を伝播する進行波音波の固有音響インピーダンス $\rho_m c$ (ρ_m : 管内平均密度、 c : 断熱音速) の 25 倍程度、 P と U の位相差 φ を 0deg 程度、 W を 50W 程度に調整した。熱音響コア軸方向前後での W の差を ΔW とし、高温側熱交換器のヒーターに入力する電力を Q_{IN} とすると、熱音響コアにおける熱効率 η を以下のように求めることができる。

$$\eta = \frac{\Delta W}{Q_{IN}} \quad (1)$$

一方、高温側熱交換器および低温側熱交換器におけるエントロピー流をそれぞれ $S_C = Q_C/T_C$ 、 $S_H = Q_H/T_H$ とし、熱力学第一法則を用いると熱音響コアにおけるエントロピー生成 ΔS は以下で表すことができる。

$$\Delta S = S_C - S_H = \frac{Q_C}{T_C} - \frac{Q_H}{T_H} = \left(\frac{1}{T_C} - \frac{1}{T_H} \right) Q_H - \frac{\Delta W}{T_C} \quad (2)$$

本実験では、 $Q_H = Q_{IN}$ とし、測定した Q_{IN} 、 T_C 、 T_H を用いて Eq. (2) から ΔS を求めた。

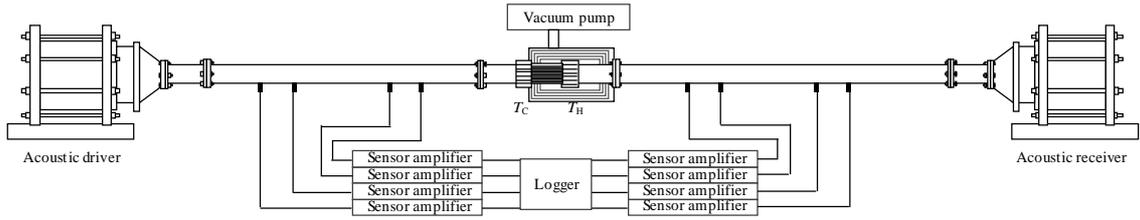


Fig. 1 熱効率測定装置概略図

解析によるエントロピー生成要因の分離

次に、この実験と同条件において熱音響理論を用いて解析を実施し、蓄熱器でエントロピーが生成された要因の特定を行う。実際の蓄熱器は多数の流路を有するが、本項の解析においては蓄熱器の一流路を仮定した。熱音響理論を用いると、蓄熱器におけるエントロピー生成を分離して書くことができる。 $\varphi = 0$ deg. と仮定すると、エントロピー生成に寄与する要素は以下の 6 要素となる。

$$\begin{aligned} \Delta S &= \Delta S_v + \Delta S_p + \Delta S_{W_{prog}} + \Delta S_{Q_{prog}} + \Delta S_D + \Delta S_k \\ \Delta S_v &= \frac{W dx}{4|Z|T_m} \operatorname{Re} \left[-\frac{j\omega\rho_m}{1-\chi_v} \right], & \Delta S_p &= \frac{1}{T_m} W|Z| dx \operatorname{Re} \left[-\frac{j\omega}{\gamma P_m} [1 + (\gamma - 1)] \chi_a \right] \\ \Delta S_{W_{prog}} &= \frac{dT_m}{T_m^2} W \operatorname{Re} \left[\frac{\chi_a - \chi_v}{(1-\sigma)(1-\chi_v)} \right], & \Delta S_{Q_{prog}} &= -\frac{dT_m}{T_m^2} W \operatorname{Re} \left[\frac{\chi_a - \tilde{\chi}_v}{(1+\sigma)(1-\tilde{\chi}_v)} \right] \\ \Delta S_D &= \frac{W C_p \rho_m}{4\omega|Z| dx} \left(\frac{dT_m}{T_m} \right)^2 \frac{\operatorname{Im}[\chi_a + \sigma \tilde{\chi}_v]}{(1-\sigma^2)|1-\chi_v|^2}, & \Delta S_k &= \left(\frac{dT_m}{T_m} \right)^2 Q_k \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 j : 虚数、 ω : 角周波数、 ρ_m : 平均密度、 γ : 比熱比、 P_m : 平均圧、 C_p : 定圧比熱、 σ : プラントル数、 χ_a 、 χ_v : 熱拡散および粘性に関する熱音響関数、 Q_k : 単純熱伝導量である。このとき、 ΔS_v : 粘性散逸に起因するエントロピー生成、 ΔS_p : 圧力振動に伴う熱拡散に起因するエントロピー生成、 $\Delta S_{W_{prog}}$: 進行波成分による仕事源に起因するエントロピー生成、 $\Delta S_{Q_{prog}}$: 進行波成分による熱流束に起因するエントロピー生成、 ΔS_D : 振動流による熱拡散効果に起因するエントロピー生成、 ΔS_k : 単純熱伝導に起因するエントロピー生成である。また、熱音響理論から、

$\Delta S_{W\text{prog}} \approx \Delta S_{Q\text{prog}}$ とみなすことができるために、本研究では ΔS_v , ΔS_p , ΔS_D および ΔS_k について解析を行う。実際の装置においては蓄熱器内部において $|Z|$ や φ および W が変化するが、本項の解析では簡単化のため $|Z| = 25\rho_{mc}$, $\varphi = 0 \text{ deg}$, $W = 50 \text{ W}$ で一定とすることで解析を行った。また、 Q_k についても装置諸元から単純熱伝導を概算し、 $Q_k = 40 \text{ W}$ と与えた。解析においては r/δ を変更しながら、式(3)を用いることで、エントロピーが生成された要因を特定する。

(2) 「熱音響自励振動に対する強制同期時のエントロピー生成」

強制同期時のエントロピー生成測定に用いた装置を Fig. 2 に示す。全長 1.030 m の導波管に熱音響コアを設置し、装置の右端は閉口、左端には外力入力用のスピーカーをベローズを介して取り付けた。導波管、熱音響コアともに直径は 40 mm である。蓄熱器は一辺の長さ 0.95 mm の矩形流路を有し、軸方向長さ 30 mm のハニカムセラミクスを用いた。2 つの熱交換器は銅製であり、平衡平板流路 2 mm、フィン厚さ 1 mm、軸方向長さ 30 mm のものを用いた。低温側熱交換器の周りには冷却水を循環させることで冷却を行い、高温側熱交換器にはシースヒーターを外周に巻き付けることで加熱を行った。実験時には冷却水温度を 300 K とし、高温側熱交換器には電力 Q_{IN} を 124.8 W 入力した。これに伴って蓄熱器高温端温度 T_H が平衡状態から遠ざかることで自励振動が生じた。本実験では $T_H = 565 \text{ K}$ 程度で温度が安定し、定常的で振幅の変化しない自励振動が生じた。本実験ではこのときの自励振動周波数を f_0 とし、この熱音響自励振動に対して外力を入力した。外力の強さはスピーカーに加えたパワーアンプからの電圧とし 847 mV で一定とした。外力周波数 f_e を変化させながら外力を入力し同期/非同期の観測と ΔS の測定を行った。

同期/非同期の観測

f_e を変化させながら外力を入力し、本実験装置における同期/非同期を観測した。自励振動周波数 f_0 に対して f_e を変化させることで $\Delta f = f_e - f_0$ を変化させながら、右端に取りつけた圧力トランスデューサを用いて相互作用させたときの振動周波数 f を観測した。このときセンサアンプからの出力を FFT アナライザに入力し、 f_e および f のスペクトルピークを解析する。 f_e と f のスペクトルピークが両方存在する場合を非同期、 f が存在せず f_e のスペクトルピークのみとなった場合を同期として、同期/非同期の判定を行う。なお、周波数の変更は $-1.5 \text{ Hz} \leq \Delta f \leq 1.5 \text{ Hz}$ の範囲で行い、 Δf を -1.5 Hz から 1.5 Hz まで変化させた場合 Δf^+ 、 Δf を 1.5 Hz から -1.5 Hz まで変化させた場合 Δf^- の 2 パターンで行った。

ΔS の測定

ΔS の測定においては Δf を変化させながら T_H , T_C , ヒーターからの入熱量 Q_{IN} を測定し、Eq. (2) から ΔS を求めた。ただし ΔW の計測を行った結果、本実験条件では Q_{IN} に対して ΔW は十分に小さかったため、簡略化の目的から Eq. (2) の右辺第 2 項について無視し測定を行った。

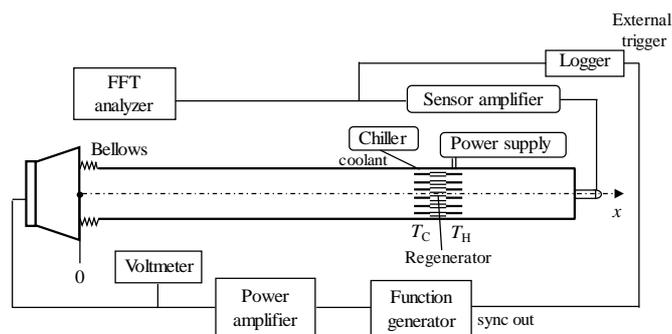


Fig. 2 強制同期時のエントロピー生成測定実験装置概略図

4. 研究成果

(1) 「熱音響機関のエントロピー生成と熱効率」について

Figure 3 に熱効率 η の測定結果、Fig. 4 にエントロピー生成 ΔS の測定結果を示す。同図とも横軸は r/δ とした。また、各点において複数のセンサで計測した際のエラーバーを示し、平均値をプロットした。Fig. 3 から η は $0.104 < r/\delta < 0.255$ の範囲で r/δ の増加に依存し上昇した後、 $0.255 < r/\delta$ で低下した。したがって η は r/δ に依存してピークが存在した。本実験条件および本実験範囲においての η の最大値は $r/\delta = 0.255$ のときに $22.6^{+3.3}_{-3.0} \%$ となり、カルノー効率に対して $46.2^{+6.8}_{-6.1} \%$ に達した。本実験では蓄熱器における音場を任意に設定できるために、実験条件としては有利な条件ではあるが、この結果は放熱や対流などによる放熱量も含んでの結果であり、 300°C 域の熱音響機関では非常に高い結果である。一方で Fig. 4 から、 ΔS は $0.104 < r/\delta < 0.208$ の範囲で r/δ の増加に従い低下し、 $0.208 < r/\delta$ で増加した。このとき ΔS の最小点は、 $r/\delta = 0.208$ ($\Delta S = 0.15^{+0.02}_{-0.02} \text{ W/K}$) で得られた。この結果は η の最大点 ($r/\delta = 0.255$) と概ね一致した。

次に上述の実験と同条件において ΔS から ΔS_v , ΔS_p , ΔS_D , ΔS_k を分離して解析することで、 η の低下に寄与する不可逆性成分を検討する。Fig. 5 に解析結果を示す。同図は横軸に r/δ を示し、縦軸に ΔS_v , ΔS_p , ΔS_D , ΔS_k , ΔS を色の違いによって示した。まず本解析では Q_k を 40 W としたために、 ΔS_k は全 r/δ の範囲において一定となった。 ΔS_v は r/δ が小さくなるに従って増加し、特

に $r/\delta < 0.246$ の範囲で ΔS に対する相対的寄与が大きくなった．一方， ΔS_D は本解析範囲において r/δ が大きくなるに従って増加し，特に $0.246 < r/\delta$ において ΔS に対する相対的寄与が大きくなった．また ΔS_p は全 r/δ 領域において ΔS への相対的寄与は小さかった．以上の結果から本実験条件および本実験範囲においては， ΔS_v と ΔS_D のトレードオフ関係によって ΔS が最小となる点が $r/\delta = 0.246$ に存在することが確認できた．この結果はエントロピー生成という視点によって，熱効率が最も高くなる r/δ の検討や，不可逆性の要因の検討が可能であることを示す．

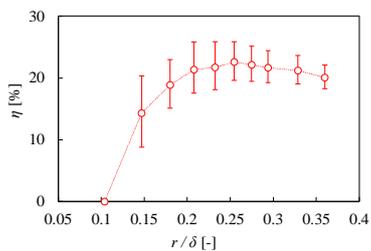


Fig. 3 熱効率の r/δ 依存性

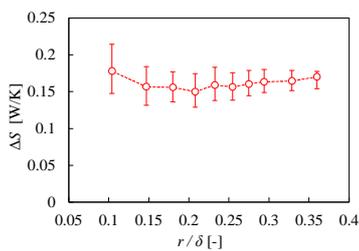


Fig. 4 エントロピー生成の r/δ 依存性

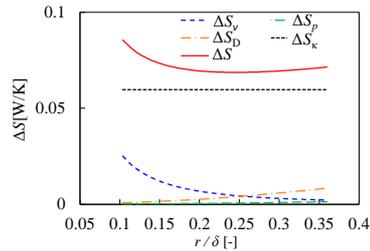


Fig. 5 ΔS_v , ΔS_p , ΔS_D , ΔS_k , ΔS の解析結果

(2) 「熱音響自励振動に対する強制同期時のエントロピー生成」

Figure 6 に同期/非同期の観測結果を示す．同図は， Δf を横軸にとり， f と f_c の差 $f_c - f$ を縦軸にプロットした．同期した場合には f と f_c が一致するため， $f_c - f = 0$ となる．一方で非同期の場合には， f と f_c が異なるため， $f_c - f \neq 0$ となる． Δf^- を青のプロットで， Δf^+ を赤のプロットで示した．それぞれが非同期、同期を示す．本実験条件においては， $0 < \Delta f$ の範囲においては， Δf^- の場合 $\Delta f = 0.60\text{Hz}$ で非同期→同期の遷移， Δf^+ の場合 $\Delta f = 0.75\text{Hz}$ で同期→非同期の遷移が見られ，同期/非同期が遷移する Δf はほぼ同じとなった．一方で， $\Delta f < 0$ の範囲においては Δf^- では $\Delta f = -0.60\text{Hz}$ で同期から非同期への遷移が生じ， Δf^+ では $\Delta f = -0.30\text{Hz}$ で同期への遷移が見られ，非同期/同期領域が異なるヒステリシスが見られる結果が得られた．また，本実験条件ではスペクトルピークの解析の結果，非同期/同期へ遷移する際に f のスペクトルピーク値が低下する経過を経ており，分岐は Hopf 分岐によるものである．

次に同条件において測定した ΔS の結果を Fig. 7 に示す．横軸に Δf とし縦軸に ΔS を示した．Fig. 6 と同様に Δf^- が青のプロット， Δf^+ が赤のプロットであり， Δf^- が非同期、 Δf^+ が同期を示す．まず Fig. 7 の $\Delta f > 0$ の範囲について確認すると，同期/非同期領域の分岐点で ΔS の軌跡が変化し，同期状態でエントロピー生成は低下した．また，この範囲においては Δf^- と Δf^+ での ΔS の軌跡は同じとなった．一方で， $\Delta f < 0$ の範囲を確認すると， ΔS の変化にヒステリシスが生じた． Δf^- の場合には $\Delta f = -0.60\text{Hz}$ で同期状態から非同期状態に遷移し急激な ΔS の増加がみられた．一方， Δf^+ の場合には $\Delta f = -0.30\text{Hz}$ で非同期状態から同期状態に遷移し急激な ΔS の減少が見られた．以上より，ヒステリシス領域では同一の Δf においても同期/非同期で ΔS の大幅な変化が観測され，同期状態において ΔS は大幅に小さくなった．この結果は ΔS という視点により同期/非同期の分岐を熱力学的アプローチから解析・判断することができることを示している．また本研究では強制同期に着目したが，他の多様な非線形ダイナミクスにおいても ΔS の測定を行うことにより，従来までの力学的な側面からの理解に加え，新しく熱力学という別の側面から現象の分析・理解ができる可能性がある．

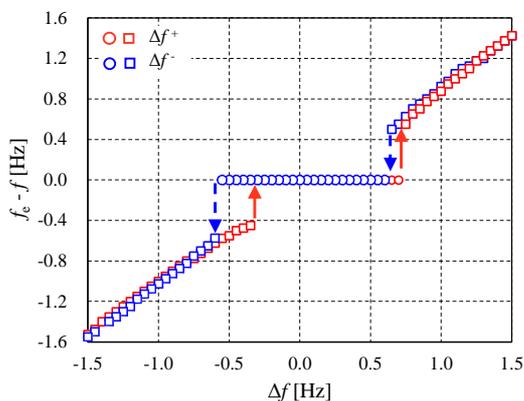


Fig. 6 同期/非同期の観測結果

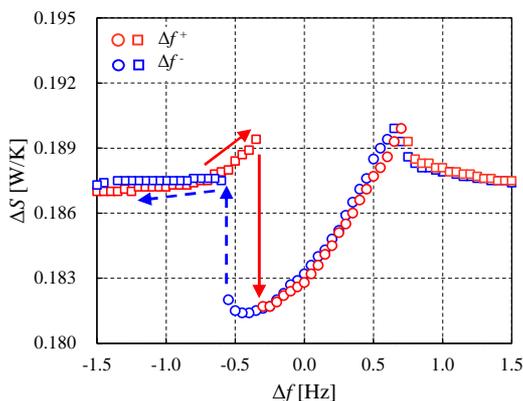


Fig. 7 Δf に対する ΔS の測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 千賀麻利子, 長谷川真也
2. 発表標題 蓄熱器流路半径と熱境界層暑さの比に対する進行波型熱音響機関の熱効率依存性
3. 学会等名 第24回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川真也, 千賀麻利子
2. 発表標題 エントロピー生成による熱音響機関の不可逆性に関する研究
3. 学会等名 東海大学産学連携フェア2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千賀麻利子, 長谷川真也
2. 発表標題 定在波型熱音響機関の強制同期時におけるヒステリシス
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mariko SENGA, Shinya HASEGAWA
2. 発表標題 Study of Relation between Entropy Flux Density Production and Thermal Efficiency of a Thermoacoustic Engine
3. 学会等名 23rd International Congress on Acoustics (ICA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千賀麻利子, 長谷川真也
2. 発表標題 進行波型熱音響機関の熱効率に関する実験検討(インピーダンスおよび流路半径と熱境界層厚さの比に対する依存性)
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mariko Senga, Shinya Hasegawa
2. 発表標題 DEPENDENCE OF CHANNEL RADIUS AND ACOUSTIC IMPEDANCE ON ENTROPY FLUX DENSITY PRODUCTION OF TRAVELING WAVE THERMOACOUSTIC ENGINES
3. 学会等名 25th international Congress on Sound and Vibration (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千賀麻利子, 長谷川真也
2. 発表標題 熱音響機関の不可逆性に関する研究
3. 学会等名 東海大学産学連携フェア2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mariko Senga, Shinya Hasegawa
2. 発表標題 Measurement of Entropy Production of Forced Synchronization in a Standing Wave Thermoacoustic Engine
3. 学会等名 MNTC International Symposium2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mariko Senga, Shinya Hasegawa
2. 発表標題 Transition of Entropy Production from Fundamental Oscillation to Quasiperiodic Oscillation in a Standing Wave Thermoacoustic Engine
3. 学会等名 MNTC International Symposium2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mariko Senga, Shinya Hasegawa
2. 発表標題 Numerical Calculation of a Quarter-Wavelength Mode Thermoacoustic Engine with a Variable Acoustic Load in a Looped Tube
3. 学会等名 The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千賀麻利子, 葛生和人, 長谷川真也, 森山裕幸
2. 発表標題 熱音響自励振動系におけるカオス遷移時のエントロピー流測定
3. 学会等名 日本流体学会年会2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 千賀麻利子, 長谷川真也
2. 発表標題 熱音響自励振動系に外力を入力した際のエントロピー流測定
3. 学会等名 2016年度第2回応用熱音響研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 千賀麻利子, 長谷川真也
2. 発表標題 熱音響自励振動系のカオス遷移時におけるエントロピー流測定
3. 学会等名 2016年度第2回応用熱音響研究会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 蓄熱器の設計方法、設計装置及びプログラム	発明者 長谷川真也, 千賀麻利子	権利者 学校法人 東海大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-109940	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 枝管付きループ型熱音響機関	発明者 長谷川真也, 千賀麻利子	権利者 学校法人 東海大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-206821	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	千賀 麻利子 (Senga Mariko) (10880362)	東海大学 (32644)	