

熱音響学序論

～熱で冷凍, 熱で発電 音波を使ったエネルギー変換デバイスの可能性～

Introduction to Thermoacoustics

東北大工¹ °琵琶 哲志¹Tohoku Univ.¹, °Tetsushi Biwa¹

E-mail: biwa@m.tohoku.ac.jp

1. はじめに

気柱共鳴管を外部加熱することにより発生する音響振動や、音波による低温生成などに代表される熱音響現象の本質は、比較的細い流路内を音波周波数で往復運動する気体要素の経験する熱力学的過程にある。通常の熱機関では固体ピストンにより実現する圧縮・膨張や加熱・冷却の熱力学的過程が、音波自身の圧力変動と変位変動を通じて起こると考えることで、熱音響現象と振動流型熱機関を統一的に見る方法が確立した。その結果、世界中で熱機関として動作する音響デバイスが開発・提案されるようになってきた。このような応用を含め、ひろく熱音響現象の理解を目指す学術領域が熱音響学である。

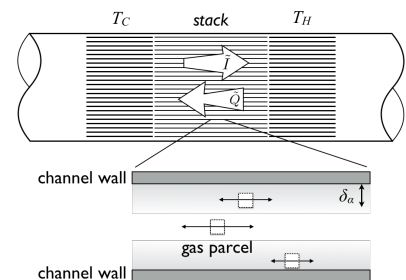


Fig. 1 Schematic view of thermoacoustic core. Stack is a porous media made of parallel plates. Gas parcels oscillating in the stack region execute thermodynamic cycles to produce sound.

2. 熱音響学の位置付け

熱音響学は、熱力学と流体力学（音響学）の境界領域に位置す

る。流体力学のエネルギー方程式を定常的周期振動の仮定のもと時間平均し、また流路断面にわたって断面平均すると、熱音響学の中心的物理概念である仕事流 $\tilde{I}$ と熱流 $\tilde{Q}$ が得られる。また $\tilde{I}$ と $\tilde{Q}$ を軸方向に積分すると、熱機関における出力仕事と吸放熱量の関係式、すなわち熱力学第一法則が得られる。熱力学第二法則に対応する表現も流体のエントロピー流 $\tilde{s}$ を介して具体化される。 $\tilde{I}$ 、 $\tilde{Q}$ と $\tilde{s}$ を使うと「どこでどれだけエネルギー変換ができるか」「どこでどれだけエントロピー生成が起こるか」を明示できるようになる。

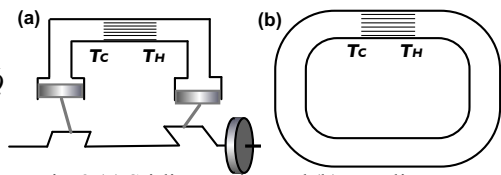


Fig. 2 (a) Stirling engine and (b) traveling-wave engine. Solid pistons in (a) are replaced with traveling acoustic waves running around the loop in (b).

3. 最近の研究トピックス

熱音響現象はレーザーと同様、典型的な非線形非平衡現象でもある。熱音響自励振動を発生する気柱管同士をバルブやチューブを介して接続すると相互同期現象や、完全に振動が停止する amplitude death も起こる。この現象は（場合によっては迷惑な）熱音響自励振動の制御や抑制に応用できると期待されている。熱音響現象の応用はエンジンや冷凍機に以外にも広がりつつある。

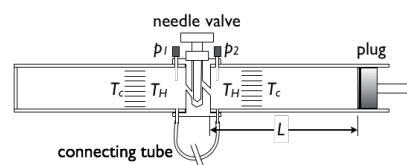


Fig. 3 Coupled thermoacoustic oscillators. Mutual synchronization and amplitude death occur depending on the frequency detuning and coupling strength provided by a valve and a connecting tube.