熱音響システムに対する制御工学の応用 Application of Control Engineering to Thermoacoustic Systems ○ 小林 泰秀 (長岡技科大) ^OYasuhide Kobayashi (Nagaoka Univ. of Tech.) E-mail: kobayasi@nagaokaut.ac.jp

1 はじめに

熱音響システムの心臓部は熱-音波エネルギーの 変換を行う熱音響コアであり,約1mm角の細管流 路を有するスタックと,その両側の高温・低温側熱 交換器から成る.著者は熱音響コアを音響的な振る 舞いをするブラックボックスと捉え研究を行ってい る.コア内部の物理現象は議論できないが,温度毎 に取得したコアの周波数応答に基づいて,様々な管 路と組み合わせたシステムの発振状況の解析 [1] 等, 対処できる課題は少なくない.制御工学分野でも, 電力投入なしで発振を維持・促進させるという問題 は十分に検討されておらず,研究の意義がある.

2 熱音響エンジンの安定性解析手法 [1]

Fig. 1(a) の装置で中央のコアの周波数応答を計 測する . 管路の応答と合わせて描いたナイキスト軌 跡の一例を Fig. 2 に示す. 高温側温度が高くなるほ ど, 軌跡が 70Hz 付近で原点を余裕を持って回り発 振する,実験に整合する解析結果である.等式条件 に基づく従来の安定性解析に比べ , 発振の可否と余 裕(軌跡-原点間距離)を容易に把握できる.

3 定常発振制御に基づく臨界温度比の推定 [2] 熱音響エンジンに圧力センサと音源を取り付け 圧力信号の振幅が目標値 P* 一定となるように PI(比 (例積分)制御の出力信号をフィードバックゲインG(t)として用いる定常発振制御系を Fig. 3 に示す.時間 応答の一例を Fig. 5 に示す. 圧力 (赤線)の振幅が目 標値一定となるよう,G(t)(青線)が自動調整され, この収束値を用いて,臨界温度比を推定できる.

4 電力フィードバック進行波型熱音響発電機 [3]

廃熱源の温度変動によらず最大効率を維持する熱 音響発電機を目指して,ループ管型発電機における 音響パワーのフィードバックを電力のフィードバッ クで置き換えた,電力フィードバック進行波型熱音 響発電機 Fig. 4 の研究を行っている . ループ管が不 要で小型化が期待できる.音響流が生じず高効率も 期待できる.これまでに熱音響コアが5段の発電機 を構成し、実際に電力と音響パワーが一方向にルー プして発振する進行波型の発電機となっていること, 電力フィードバック回路 Z_L にコイルを追加すると 発振余裕が拡大されることを実験及び解析により示 した. Fig. 1(b) の装置で中央のリニアモータの電 気-音響特性を計測し Fig. 2 のような解析が行える.

5 まとめ

制御工学では通常,発振は抑制の対象だが,電力 フィードバック型発電機では発振余裕を最大化する 回路の設計問題を検討することになり興味深い.ま た定常発振制御は,圧力を一定とする負荷の制御や, 振幅依存性を考慮した音響計測にも利用できる.

参考文献

- [1] 小林,山田:進行波圧力成分に関するシステム表現に 基づく定在波型 / 進行波型熱音響システムに対する統 - 的な自励発振条件の解析, システム制御情報学会論 文誌, 28-9, 392/399 (2015)
- [2] 櫻井,小林,中田,山田:定在波型熱音響エンジンの適 応定常発振制御に基づく臨界温度比推定、日本音響学 会誌, **73**-2, 93/99 (2017)
- [3] 小林, 梅本, 中田, 古澤, 山田: リニアモータの電気-音 響特性に基づく電力フィードバック型熱音響発電機の 発振条件解析, 日本音響学会誌, **73**-1, 12/20 (2017)





60 8 Time (s) Fig. 5: Time resp. of Fig. 3

100 120

Fig. 4: Electricity-feedback thermoacoustic electric generator with 5-stage cores