

ダンピングファクターによる振動燃焼制御効果の評価について

Performance evaluation of an active control of combustion-driven oscillations by a damping-factor analysis

○立花繁, JAXA, 東京都調布市深大寺東町 7-44-1, E-mail: tachibana.shigeru@jaxa.jp
 ZIMMER Laurent, JAXA, 東京都調布市深大寺東町 7-44-1, E-mail: zimmer.laurent@jaxa.jp
 黒澤要治, JAXA, 東京都調布市深大寺東町 7-44-1, E-mail: kurosawa.yoji@jaxa.jp
 鈴木和雄, JAXA, 東京都調布市深大寺東町 7-44-1, E-mail: suzuki.kazuo@jaxa.jp

Shigeru TACHIBANA, JAXA, 7-44-1 Jindaiji-Higashi, Chofu, Tokyo 182-8522, Japan
 Laurent ZIMMER, JAXA, 7-44-1 Jindaiji-Higashi, Chofu, Tokyo 182-8522, Japan
 Yoji KUROSAWA, JAXA, 7-44-1 Jindaiji-Higashi, Chofu, Tokyo 182-8522, Japan
 Kazuo SUZUKI, JAXA, 7-44-1 Jindaiji-Higashi, Chofu, Tokyo 182-8522, Japan

This paper describes applications of the damping-factor analysis to the wall-pressure spectra of a lean-premixed combustor. The analysis is applied to a range of operating conditions, which lead to self-excited strong pressure oscillations. By comparing the damping-factor values among the first spectral peaks of different measurement positions and equivalence ratios, possible applications of the analysis as a combustion monitoring tool are discussed. The analysis is applied to the pressure spectra in the actively controlled cases also. A series of active control experiments was previously conducted by means of secondary fuel injection. Keeping the inlet air temperature, the air mass flow rate and the overall equivalence ratio, respectively, at 700K, 78g/s and 0.50, different secondary fuel percentages were examined. The control performance is evaluated by the change of damping-factor values from the steady injection cases to the actively modulated injection cases. The prospects and reminders for the use of the analysis are summarized.

1. はじめに

近年, ガスタービンエンジンの低 NO_x 化と関連して, 燃焼器で発生する振動燃焼が問題となってきており, その解決のために, 能動制御を適用する研究が盛んに行われている. 筆者らのグループでも, 希薄予混合燃焼器で発生する振動燃焼を対象として, 二次燃料噴射による振動燃焼の能動制御を実施してきた^(1, 2). 制御の効果は, 圧力振動スペクトルのピークレベルの低減によって評価される場合が多い. これに付加的な情報として, スペクトルピークの急峻度から振動の減衰特性を計算するダンピングファクター解析も有効な評価手段である. 例えば, Laudien et al.⁽³⁾ は, ロケットエンジン燃焼器で発生する振動燃焼の抑制のためのレゾネータ設計にこの評価法を用いている. また, このような解析法は, 振動抑制効果の評価に限らず, オンラインでのエンジン異常検知技術に応用できる可能性も考えられる. 本研究では, ガスタービンエンジンモデル燃焼器の振動燃焼発生時および能動制御時に計測された圧力スペクトルに対して, ダンピングファクター解析を適用し, この評価法の有用性や適用に際しての注意点などについて考察する.

2. ダンピングファクター解析

圧力振動スペクトル分布のピーク周りの分布について, 次式の定義によって, ダンピングファクター (η) の計算を行った.

$$\eta = (f_p - f_m)/f_0 \times 100. \quad (1)$$

ここで, f_0 は, ピーク位置の周波数, f_p 及び f_m は, 振幅レベルがピーク値の $1/\sqrt{2}$ となる周波数をあらわしている.

3. 能動制御時のダンピングファクター解析

入口温度 700K, 空気流量 78g/s, 全体当量比 0.50 を共通の条件として, 4つの二次燃料割合 (SFP) による制御実験の結果について解析を行った. Fig.1 に, 4つの SFP 条件における定常噴射時と閉ループ制御時のダンピングファクター値を示す. 各 SFP

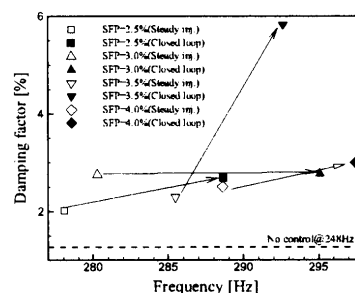


Fig. 1 Damping factors for two injection methods.

条件についての増加傾向を見ると, SFP=2.5, 4.0 では, 1% 以内の微増, SFP=3.0% では増減なし, SFP=3.5% では 3% 以上の増加が確認された. このことから, 制御によって, スペクトルのピーク付近の分布を平滑化させる効果が得られていることがわかる. 一方で, ダンピングファクターの増加幅には, ピーク値の低減効果に見られるような単一的な相関は見られず, 増加幅の大小から単純に制御効果を説明するようなことはできないこともわかる. 能動制御時の圧力スペクトルにダンピングファクター解析を適用することで, ピーク周辺の分布形状に関する情報が得られ, ピーク低減量という従来からの評価指標とは別に, 付加的な評価に用いることのできる可能性があることがわかった. 一方で, 定量的な評価に用いるには, 二次ピーク現れのような変形したピーク形状への対応が必要であることもわかった.

参考文献

- (1) 立花他, ながれ, 25 巻 第 3 号 (2006) pp.219-227.
- (2) Tachibana et al., *Proc. Combust. Inst.* (2006) (to appear)
- (3) Laudien et al., *Liquid Rocket Engine Combustion Instabilities*, V. Yang and W. E. Anderson, eds., AIAA, Washington DC. (1995) pp.377-399.