706 デュアルベルノズルの垂直離着陸時における地面の及ぼす影響に関する研究

Investigation of Effect of Ground Downstream of Overexpanded Dual-Bell Nozzle During Vertical Takeoff and Landing

学 ○佃 宏明 (阪大) 正 米澤 宏一 (阪大) 正 辻本 良信 (阪大)
 正 木村 竜也 (三菱重工)

Hiroaki TSUKUDA, Osaka University, 1-3, Machikaneyama, Toyonaka, Osaka

Kouichi YONEZAWA, Yoshinobu TSUJIMOTO, Osaka University

Tatsuya KIMURA, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd

1. 緒 言

地表付近から周囲がほぼ真空となる高高度までの広い範囲で利用できる高度補償型のロケットノズルの一つとしてデュアルベルノズルがあり、これは打上げ時から低高度においては低膨張比のベースノズルにおいて飛行に必要な推力を発生させ、高高度では膨張比が大きなエクステンション部の効果により大きな比推力を得ることが出来る。これは再使用ロケットへ応用することができ、さらに垂直離着陸機 (VTOL) への応用の可能性も持っている。本研究では、デュアルベルノズルでの垂直離着陸を想定し、低高度運転モードにおいて排気ジェットが地面と衝突したときの流れの不安定性、特にノズル近傍で生じる大きな流体振動について実験と数値計算を用いて考察した。

2. 実験方法

本研究では、サブスケールノズルを用いて実験を行い、起動から停止までの流れの非定常圧力変動とノズルに作用する推力や横推力の計測を行った。ただし停止時の結果を用いて考察を行った。図1に本研究で用いた試験部を示す。作動流体には上流の 1.3MPa の高压タンクからの乾燥空気を用いた。風洞は予め減圧しており、様々な圧力比 (NPR) を作る事ができる。ノズルは高压室とノズル側面に取り付けられたシャフトによって支えられ、それぞれのシャフトに、リニアブッシュとリニアガイドと共にロードセルが設置され、推力や横推力の測定を行うことができる。ノズル壁面では軸方向と周方向で非定常圧力変動を計測している。またノズル出口付近の流れを可視化し、高速カメラで録画している。また、ノズル下流に設置している衝突壁 (Ground-wall) はノズル出口直径 D とノズル出口から Ground-wall までの距離 H をパラメータとして用い、 $H/D=0.25\sim9.0$ で位置を変化させ実験することができる。実験は数種類のノズルを用いて行っているが、特に TP10-NPE ノズルについて詳しく実験を行い、また代表的な条件について数値計算を行い比較・考察を行った。

Fig.1 Schematic of experimental facility

3. 結果と考察

図2、図3は実験結果のノズル壁面圧力を FFT 解析したものをノズル圧力比 (NPR=入口圧/背圧) ごとに縦に並べた結果である。図中に示してある対称・非対称は周方向の位相差を比較し振動モードを判断した。これらから条件によって明らかなスペクトルの相違が見られ、流れ場の様子が異なっていることが分かる。図2の結果では、低 NPR に非常に強い非対称モードのスペクトルが立っていることが分かる。CFD 結果から、ノズル下流で Ground-wall によって反射してきた擾乱とエクステンション部断面内の径方向の固有モードが共鳴を起こし大きな振動となっていることが分かった。また図3で 1300Hz 付近に軸対称振動モードが表れた。図4はそれぞれの実験の FFT 結果から軸対称モードの周波数をプロットしたものである。これを見ると、軸対称モードの周波数はほぼ全ての条件で近い値を示している。このことは CFD から確認でき、軸対称モードはエクステンション部での軸方向の音響共鳴に起因していることが明らかになった。

参考文献

- (1) T. Kimura, K. Niu, K. Yonezawa, Y. Tsujimoto, K. Ishizaka, "Experimental and Analytical Study for Design of Dual-Bell Nozzle," AIAA Paper 2009-5149 (2009)
- (2) Powell, A., "On Edge Tones and Associated Phenomena," Acustica, Vol.3, 1953, pp. 233-243

Fig.2 FFT result ($H/D=0.5$)

Fig.3 FFT result ($H/D=3.0$)

Fig.4 Frequency of wall pressure fluctuation (symmetric mode)