

# 卒業論文要旨

## 楕円ノズルを用いた小型ジェットエンジンの騒音評価

### Noise Evaluation of a Small Jet Engine with an Elliptical Nozzle

システム工学群

航空エンジン超音速流研究室 1230116 中西 健太

#### 1. 緒言

今日の航空機が発生させる騒音に対しては国際的な規制が敷かれており、航空機輸送量の増加に伴い騒音の規制値は年々厳しくなっている。そのため、航空機の騒音を低減させることは重要な課題である。航空機から発生する騒音は機体騒音とエンジン騒音の2つに分類され、エンジン騒音にはジェット騒音やファン騒音、燃焼器騒音などがある。本研究では離陸時に大きな割合を占めるジェット騒音<sup>(1)</sup>に着目した。

先行研究<sup>(2)</sup>において、楕円ノズルは Base ノズルと比較して指向性が変化し、音圧レベルが最も高くなる角度（以下、ピーク角度）が異なる事が判明した。また、楕円ノズルの取り付け角度については楕円の長軸を水平、鉛直にしたケースを計測すると、ピーク角度が同一である事も判明した。

本研究では、ジェット騒音を低減させる新しいノズル形状の提案を最終目的とし、小型ジェットエンジンを用いて楕円ノズルの取り付け角度による指向性の変化に着目した騒音評価を目的とする。楕円ノズルの取り付け角度を変更して計測した際に音圧値とピーク角度がどのように変化するかについて調査する。

#### 2. 実験装置と実験方法

##### 2.1 実験装置

実験に用いた小型模型用ジェットエンジンは JetCat 社製の P160SX である。図 1 に実験装置の外観、表 1 にその仕様を示す。燃料はジェットエンジンに用いられる JetA-1 にタービンオイル AeroShell Turbine Engine Oil 500 を容積比 5[%]で混ぜた混合油とした。

インテークパイプの上流はベルマウス形状になっており、ベルマウスを覆うように ICD(Inflow Control Device)と呼ばれるエンジン内への異物混入防止と流入空気の整流を目的とした球状の装置を設置した。また、インテークパイプとテイルパイプには温度を測るための K 型熱電対と全圧及び壁面静圧を測定するためのチューブが取り付けられている。推力の測定にはエンジン本体の下部にあるビーム型ロードセル、共和電業製 LUB-30KB を使用した。本研究では各種ノズルをテイルパイプに取り付けて実験を行う。実験にはノズル出口形状が円形状である Base ノズル(Base)と、楕円ノズル(EL- $\beta$ )を使用した。図 2 に楕円ノズルの取り付け角度、表 2 に各ノズルの寸法を示す。実験では、楕円長軸を水平にした取り付け角度を基準として、 $-17.3^\circ$ 、 $+72.7^\circ$ 、 $+27.7^\circ$  回転させた Case1, Case2, Case3 の 3 パターンを計測し、Base ノズルと合わせて計 4 パターンを計測した。

騒音の測定にはプリアンプ一体型マイクロフォン、アコー製 TYPE 4156N(TYPE2)を用いた。騒音の録音にはフィールドレコーダー、ズーム製 ZOOM F6 を使用し、ビット数

24[bit]、サンプリング周波数 192[kHz]、wav 形式で保存した。

##### 2.2 実験方法

本実験は反射音の少ない場所として高知工科大学香美キャンパスグラウンドで実施した。マイクロフォンは主流方向に対して反時計回りに設置した。エンジン回転数が最高回転数に対して約 50, 60, 70, 80[%]となった際に、推力等のエンジン性能を示すパラメーターを 20 秒間計測し、騒音は 5 秒間計測した。また、誤差範囲の取得のため計測の一連の流れを 3 回繰り返し行い、データの取得を行った。図 3 と表 3 にマイクとエンジンの位置関係を示す。騒音の計測はおおよそ、 $\theta=30, 35, 40, 45, 50, 55[\text{deg}]$ の位置で行った。

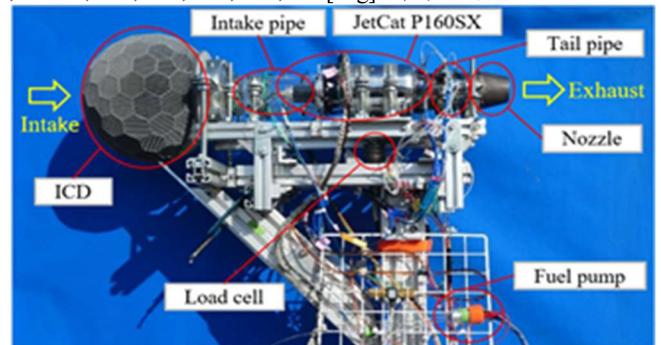


Fig. 1 Testing equipment (JetCat P160SX).

Table 1 Engine specification.

Parameter	Value	Unit
Mass	1.59	[kg]
Size	$\phi 112 \times 320$	[mm]
Maximum thrust	160	[N]
Maximum rotational speed	125,000	[rpm]
Maximum exhaust temperature	750	[ $^\circ\text{C}$ ]

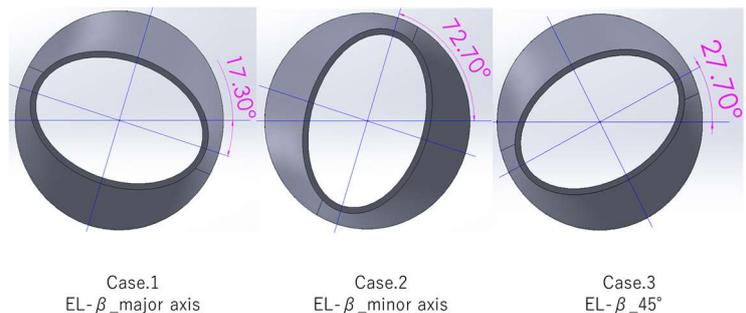


Fig. 2 Elliptical Nozzle mounting angles

Table 2 Nozzle dimensions.

Nozzle type	Base	EL-β
Nozzle length [mm]	46.0	
Nozzle outlet diameter [mm]	49.0	60.0
Nozzle outlet major axis [mm]		
Nozzle outlet minor axis [mm]		40.0
Flattening	0.000	0.333

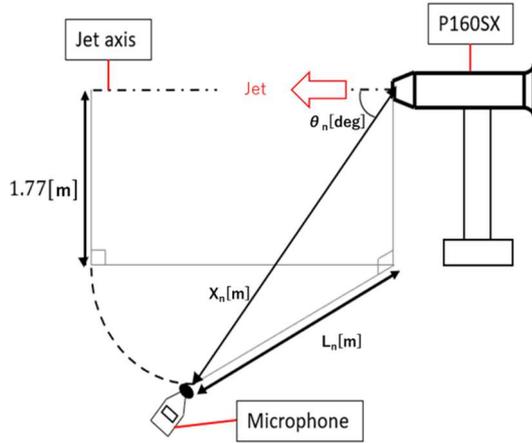


Fig. 3 Position of nozzle and engine

Table 3 Corresponding table of coefficients for  $\theta$ ,  $X$ , and  $L$

$\theta_1$	$X_1$	$L_1$
30.13	13.45	13.3
$\theta_2$	$X_2$	$L_2$
35.14	11.67	11.5
$\theta_3$	$X_3$	$L_3$
40.18	10.49	10.3
$\theta_4$	$X_4$	$L_4$
45.22	9.51	9.3
$\theta_5$	$X_5$	$L_5$
50.22	8.73	8.5
$\theta_6$	$X_6$	$L_6$
55.14	8.25	8.0

### 3. 実験結果と考察

図 4 に修正回転数 80[%]付近における推力の計測結果を示す. Case1, Case2, Case3 を比較すると誤差範囲に収まっているため, ノズルの取り付け角度による差は殆ど見られなかった. Base と Case1 を比較すると最大約 2.43[%]低くなった. 楕円ノズルの円周は Base よりも長く, 噴流と周囲空気のせん断領域が広くなり, 周囲空気へ与える運動量が多くなるため噴流の流速が低下し, それにより推力が低下したと考えられる.

次に, 修正回転数 80[%]において騒音測定結果の比較を行った. 図 5 に計測周波数範囲 20[Hz]~80[kHz] の内, 20[Hz]~3150[Hz]までを用いた音圧値の分布を示す. この周波数範囲の騒音はジェット騒音が卓越していたので, この範囲で議論する. 図 5 において Base ノズルと楕円ノズルを比較すると, 共に  $\theta=45[\text{deg}]$  で音圧値が最大となったため, ノズルの違いによるピーク角度の変化が確認できなかった. ピーク角

度で楕円ノズルを比較すると Case 1 が最も音圧値が小さく, 続いて Case2, Case3 の順に音圧値が大きい.

図 6 に楕円ノズルの断面図を示す. 図 6 の黄色とマゼンタの矢印はジェットの流れの向きを,  $\phi$  はノズル出口傾斜角を表す. ノズル出口傾斜角  $\phi$  が大きいとその断面での加速が大きくなり, 流速が高くなる. 流速と騒音の関係について, ジェット騒音の大きさは流速の 8 乗に比例<sup>(3)</sup>することが知られている. 取り付け角度の違いで騒音の大きさが変化した原因は取り付け角度ごとにノズル出口傾斜角が異なり, 流速が変化したからだと考えられる.

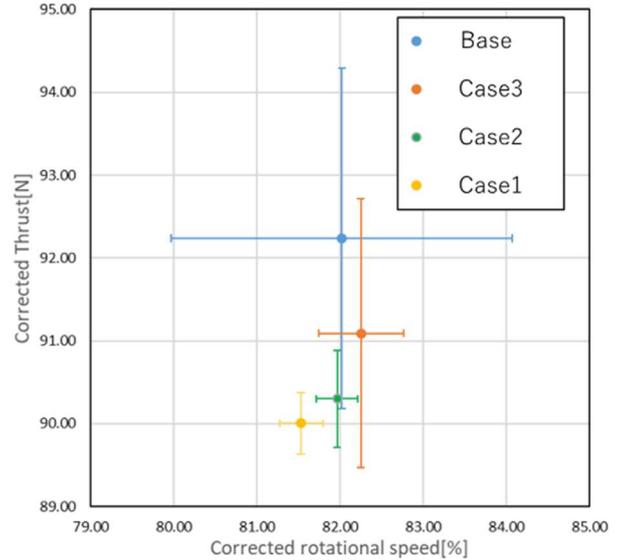


Fig. 4 Corrected thrust(Corrected RPM around 80)

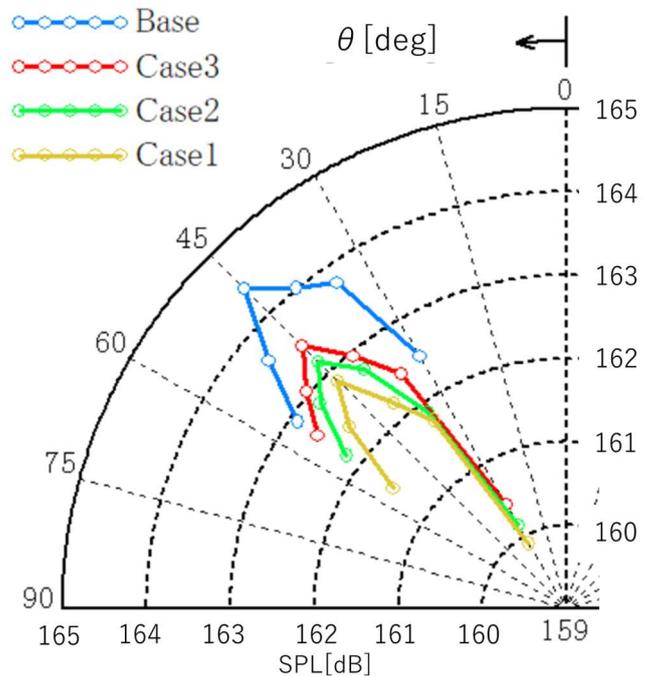


Fig.5 Directivity of overall jet noise

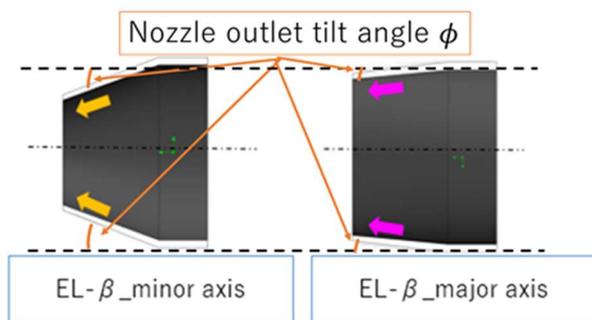


Fig6 Elliptical nozzle cross section

### 結言

本研究では小型模型用ジェットエンジンを用いてノズル形状の違いによる推力及び騒音の計測を行った。その結果、楕円ノズルは Base より推力が低くなり、ピーク角度を含めて全体的に騒音が低下することが分かった。また、騒音の低下に楕円ノズルの取り付け角度が関わっていることが分かった。今後は取得する取り付け角度ごとの推力、騒音のデータ点数を増やし、より詳細な分析を行うことを計画している。

### 文献

- (1) 大石勉, “航空機騒音の低減対策について”, 日本音響学会誌, 73 巻 11 号 (2017), pp. 725-730.
- (2) 野老山将悟, “楕円ノズルを用いた小型ジェットエンジンの性能及び騒音評価”, 日本機械学会 中国四国学生会 第 52 回学生会卒業研究発表講演会
- (3) Michael James Lighthill, “On sound generated aerodynamically I. General theory”, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 211, No. 1107 (1952), pp.564- 587.