

# 機械工学実験 2

## 3 次元翼空力実験

九州工業大学 機械知能工学科 機械知能コース 3 年

学籍番号: 13104069 坂本悠作

実験日 1 2015 年 6 月 3 日

実験日 2 2015 年 6 月 10 日

平成 27 年 6 月 24 日

## 1 目的

流体機械の主要素である3次元翼について、低速風洞試験設備を利用した力及び圧力の計測を行い、基本的な圧力特性や性能計算を理解する。

## 2 実験装置と実験方法

### 2.1 実験装置

#### 2.1.1 風洞

表 1: 実験に用いた低速風洞試験設備の諸元

風洞型式	閉鎖型回流式
測定部寸法	$0.45m(\text{幅}) \times 0.45m(\text{高さ}) \times 1.35m(\text{長さ})$
縮流比	1:4
風速範囲 (閉鎖型回流式)	$5 \sim 45m/s$
風速範囲 (開放型回流式)	$5 \sim 40m/s$
気流の流れ	吹き出し口断面中心にて 1.0%以下

#### 2.1.2 天秤

表 2: 天秤の仕様

定格負荷	$F_x \pm 100[N]$ $F_y \pm 100[N]$ $F_z \pm 100[N]$
非線形性	$\pm 0.5\%FS$
許容過負荷	$\pm 150\%FS$
零点の温度影響	$\pm 0.01\%FS/^{\circ}C$
感度の温度影響	$\pm 0.01\%Reading/^{\circ}C$
日章電気 (株) 社製 3 分力計	LMC-3501-100N

### 2.1.3 32チャンネル圧力センサーユニット

表 3: チャンネル圧力センサーユニットの仕様

定格出力	$0 \sim +10V_{dc}$ $0 \sim +7.5kPa$ $0 \sim -10V_{dc}$ $0 \sim -7.5kPa$
測定精度	$\pm 0.4\% F.S.$
温度影響 (ゼロドリフト)	$\pm 4mV/^{\circ}C$ at $0 \sim 50^{\circ}C$
(スパンドリフト)	$\pm 5mV/^{\circ}C$ at $0 \sim 50^{\circ}C$
OFFSET 範囲	$\pm 4mV/^{\circ}C$ at $F.S.$
東亜工業株式会社製	32チャンネル圧力センサーユニット

### 2.1.4 供試体

表 4: 3次元翼の諸元

形態	片持ち半裁翼
平面形	矩形翼
翼型	NACA0012(対象翼)
半スパン長	210mm
翼弦長	70mm
主翼面積	$2.94 \times 10^4 mm^2$
アスペクト比	6
圧力孔	反スパン中央位置の翼断面において 上面 10 点、下面 10 点

圧力孔の位置は、上面の 2,6,12,20,30,40,50,60,75,90[%翼弦長], 下面の 1,4,9,17,25,35,45,55,70,85[%翼弦長] に配置してある。また、この翼型の翼弦長と翼厚の関係として、次の理論式が与えられている。

$$\pm y = \frac{0.12}{0.20} (0.29690\sqrt{x} - 0.12600x - 0.35160x^2 + 0.28430x^3 - 0.10150x^4) \quad (1)$$

## 2.2 実験方法

### 2.2.1 カ計測の手順

1. アンプの電源を入れ、出力が安定するまで待つ (最低 30 分)
2. アンプの 0 設定及び測定レンジ合わせ
3. アンプの校正を行なう
4. ピトー管を設置する

5. 操作盤の周波数ダイヤルを徐々に回して通風し、目標レイノルズ数となる送風機回転を調べる
6. 天秤に供試体を取り付け、風洞に設置する。
7. 水準器を用いて仰角  $\alpha = 0$  に設置する
8. 温度計を取り付ける
9.  $\alpha = -20[\text{degree}]$  に設定する
10. 無風時の天秤出力を得る
11. 仰角を変更し ( $1[\text{degree}]$  ずつ)、各仰角の無風時のデータを得る。
12. 再び  $\alpha = -20[\text{degree}]$  に設定する
13. 通風する
14. 通風時の天秤出力を得る
15. 仰角を変更し ( $\alpha = -20[\text{degree}] \sim +20[\text{degree}], 1[\text{degree}]$  ずつ)、各仰角の通風時のデータを得る。

### 2.2.2 圧力計測の手順

1. 圧力センサの電源を入れて出力を安定させる
2. ピト一管を設定する
3. 操作盤の周波数ダイヤルを徐々に回して通風し、目標レイノルズ数 (動圧) となる送風機回転数を調べる
4. ダミー天秤に供試体を取り付け、風洞に設置する
5. 水準器を用いて仰角  $\alpha = 0[\text{degree}]$  に設定する
6. 温度計を設定する
7.  $\alpha = -20[\text{degree}]$  に設定する
8. 通風する
9. 圧力のデータを得る
10. 仰角を変更し ( $\alpha = -20[\text{degree}] \sim +20[\text{degree}], 2[\text{degree}]$  ずつ)、各仰角の圧力のデータを得る

## 3 実験結果

### 3.1 力計測から得られたデータの整理

表 5: 実験環境の整理

温度	$T_a$	25.5 °C
静圧	$P_a$	1003.80[hPa]
レイノルズ数	$Re$	170000
空気密度	$\rho$	1.1710[kg/m <sup>3</sup> ]
粘性係数	$\mu$	1.846×10 <sup>-5</sup> [Pa·s]
風速	$V$	38.28[m/s]

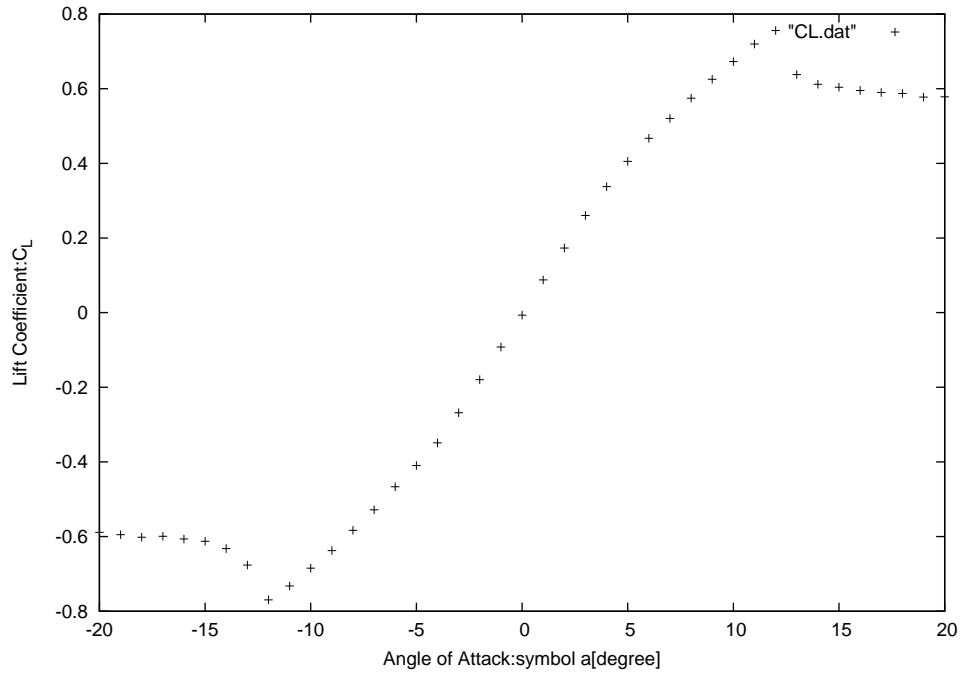


図 1:  $\alpha - C_L$

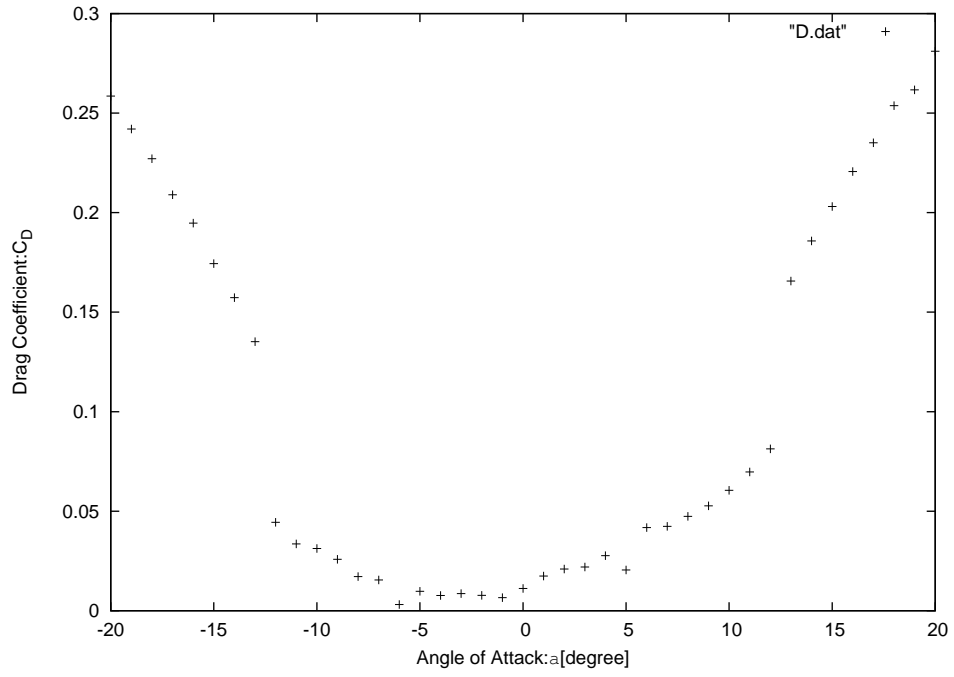


Fig 2:  $\alpha - C_D$

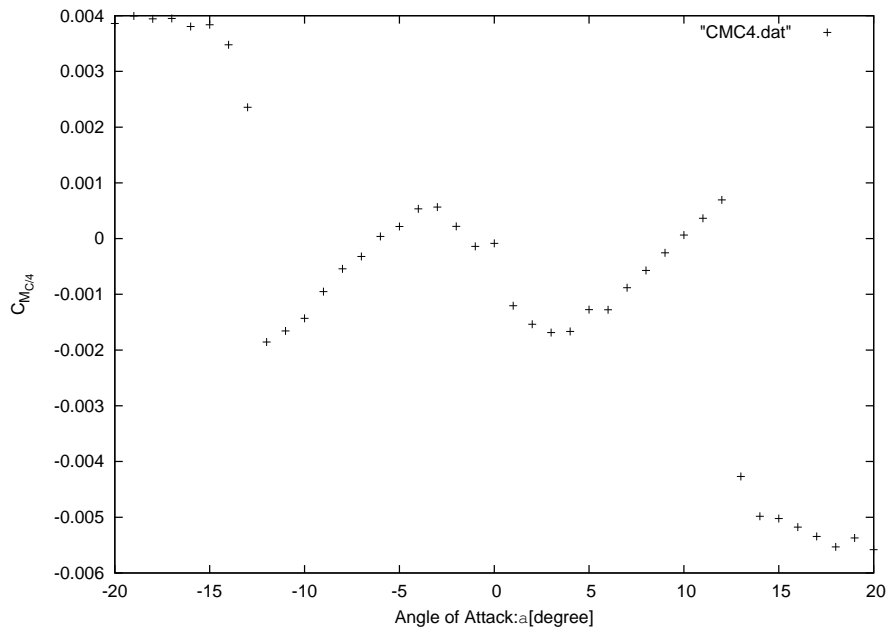


Fig 3:  $\alpha - C_{mC/4}$

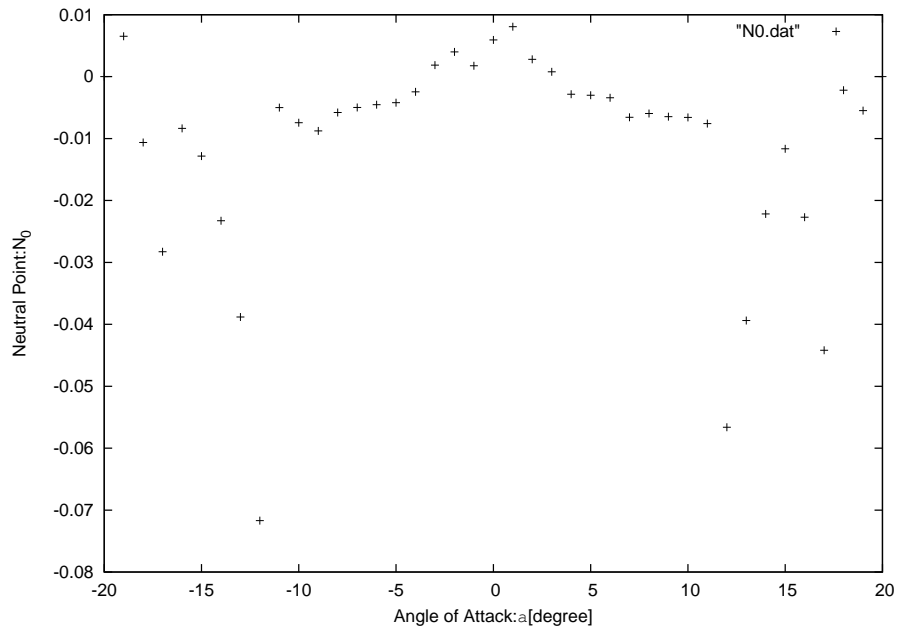


图 4:  $\alpha - N_0$

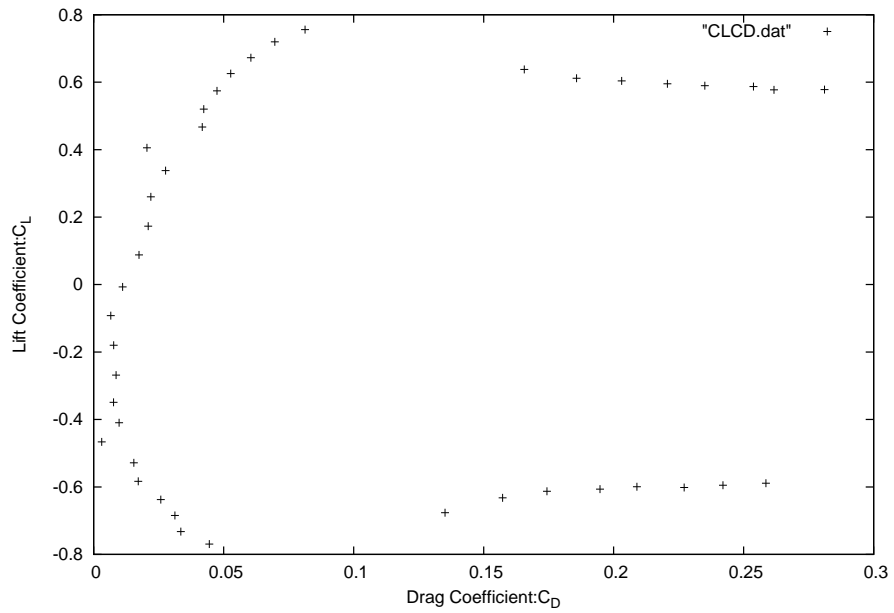


图 5:  $C_L - C_D$

### 3.2 圧力計測から得られた圧力係数と圧力分布の整理

得られた風洞制圧 (大気圧) との差圧を、電圧からパスカルに変換する。このとき使用した 32 チャンネル圧力センサーユニットの仕様により、1[V] が 750[Pa] であることを利用した。

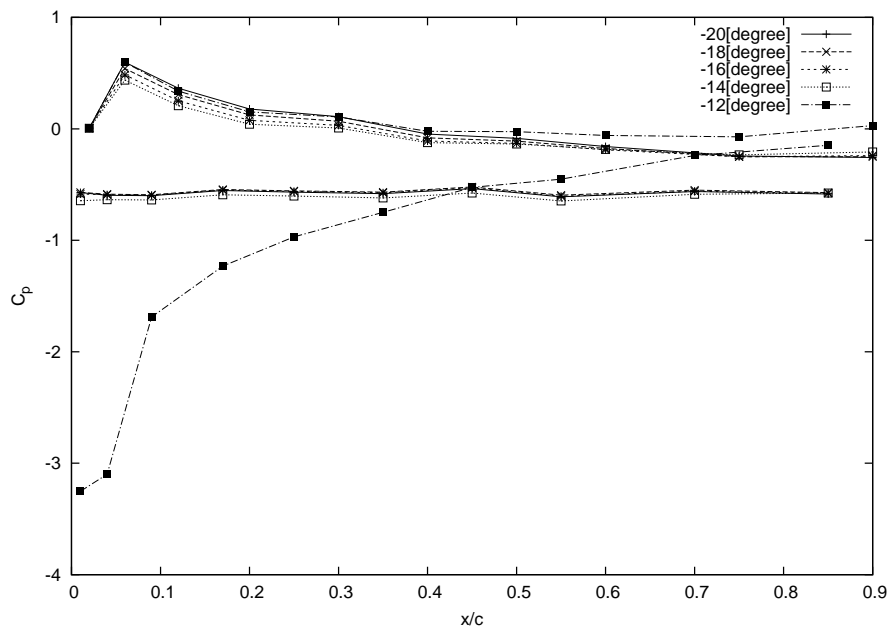


図 6:  $degree = -20, -18, -16, -14, -12$

今回の実験で使用した翼型 NACA0012 の理論式を以下に示す。

$$\pm y = \frac{0.12}{0.20} (0.29690\sqrt{x} - 0.12600x - 0.35160x^2 + 0.28430x^3 - 0.10150x^4) \quad (2)$$

今、翼の y 軸に対して翼表面の傾きについて求めたい。これを求めるのに以下の式を用いる。

$$\tan \theta_i = \left. \frac{dy}{dx} \right|_i \quad (3)$$

よって、 $\theta$  を算出するには y の理論式を微分したものに  $\arctan$  によって  $\theta$  を算出する。計算結果は以下の通りである。

$$\frac{dy}{dx} = \frac{0.12}{0.20} \left( -0.126 + \frac{0.14845}{\sqrt{x}} - 0.7032x + 0.8529x^2 - 0.406x^3 \right) \quad (4)$$

また、各面積にかかる力を算出するため、圧力孔付近に局所面積  $\Delta s_i$  を設ける。その値は求めた角度  $\theta$  を用いて次の式で算出した。

$$\Delta s_i = c \times \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2} \times \arccos \theta \quad (5)$$



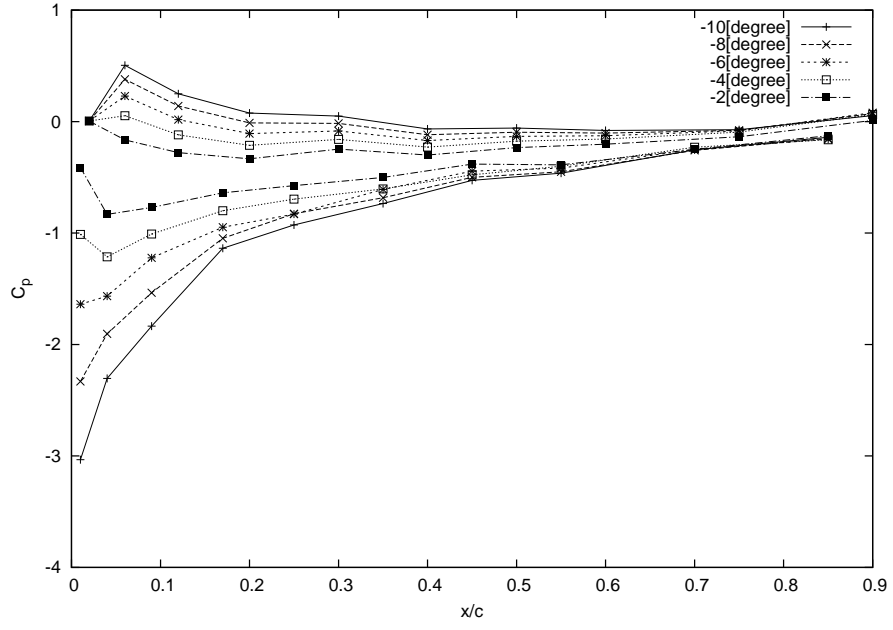


Figure 7:  $degree = -10, -8, -6, -4, -2$

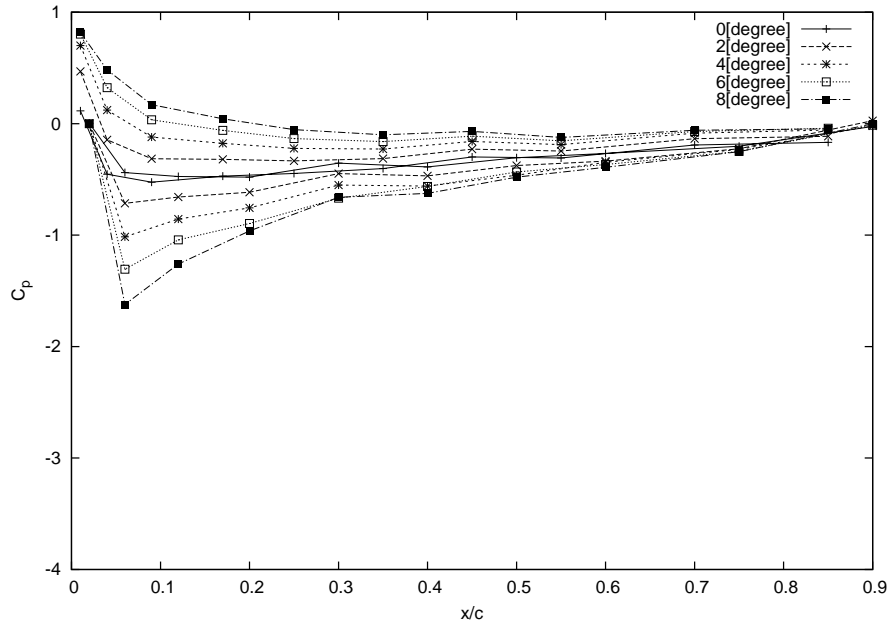


Figure 8:  $degree = 0, 2, 4, 6, 8$

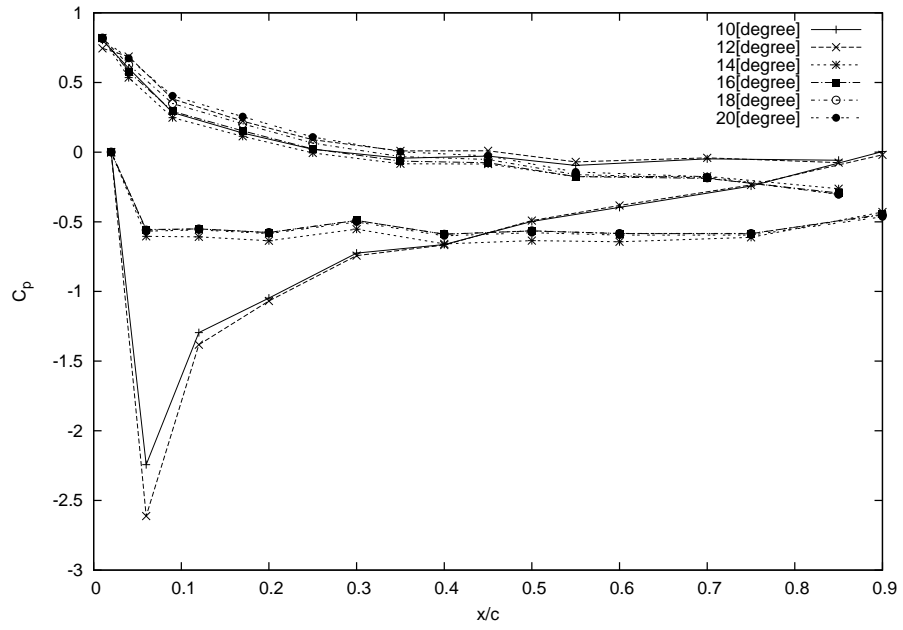


Figure 9: 10to20

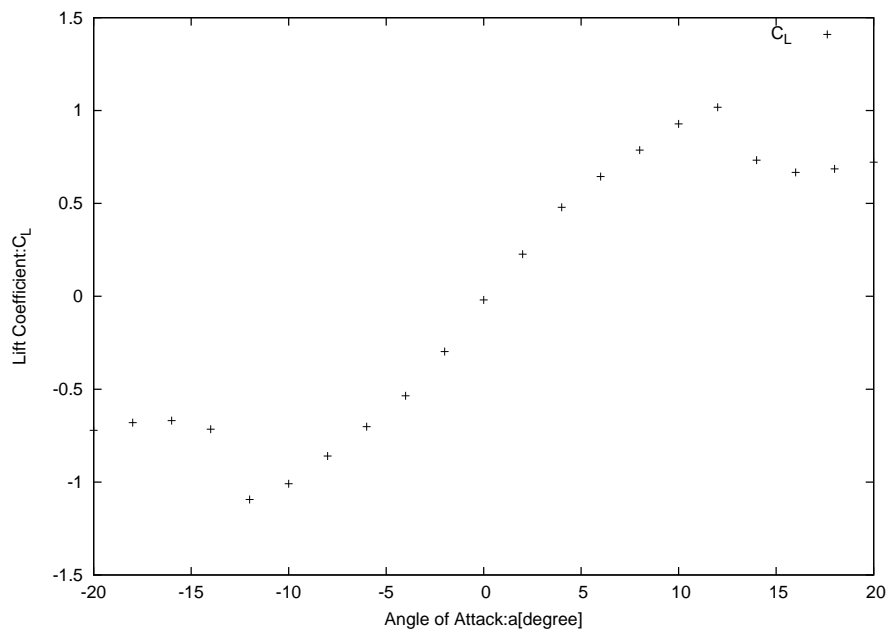


Figure 10:  $\alpha - C_L$

表 6:  $\theta$  の算出

i	x	y'	$\theta$ [radian]	$\Delta s$
1	0.02	0.5459843572	0.499754957	0.002199709
2	0.06	0.2645011987	0.2585796015	0.0045823569
3	0.12	0.1378406576	0.1369774836	0.0070235955
4	0.2	0.0577033748	0.0576394578	0.0095326869
5	0.3	-7.77726767161646E-005	-7.77726765593596E-005	0.0109961187
6	0.4	-0.0372479644	-0.0372307527	0.0112562498
7	0.5	-0.063110998	-0.0630274073	0.0114370588
8	0.6	-0.0821543245	-0.0819702404	0.0144625131
9	0.75	-0.104105823	-0.1037321496	0.0175845119
10	0.9	-0.1245149763	-0.1238774042	0.0148311867
11	0.01	0.8109317304	0.6813711777	0.0011496268
12	0.04	0.3536763936	0.3399462412	0.0034270225
13	0.09	0.1872947096	0.1851496244	0.0062998036
14	0.17	0.0822925604	0.0821075481	0.0083361389
15	0.25	0.0252375	0.0252321439	0.0097370375
16	0.35	-0.0204724211	-0.0204695616	0.0111388712
17	0.45	-0.0512569835	-0.0512121653	0.0113542163
18	0.55	-0.0732816365	-0.0731508786	0.0143851103
19	0.7	-0.0972871878	-0.0969819846	0.0175132754
20	0.85	-0.1174907206	-0.1169545379	0.017724201

### 3.3 力測定から得られる数

表 7:  $\theta$  の算出

最大揚力係数	0.756
失速迎角	$12^\circ$
最大揚抗比	11.316

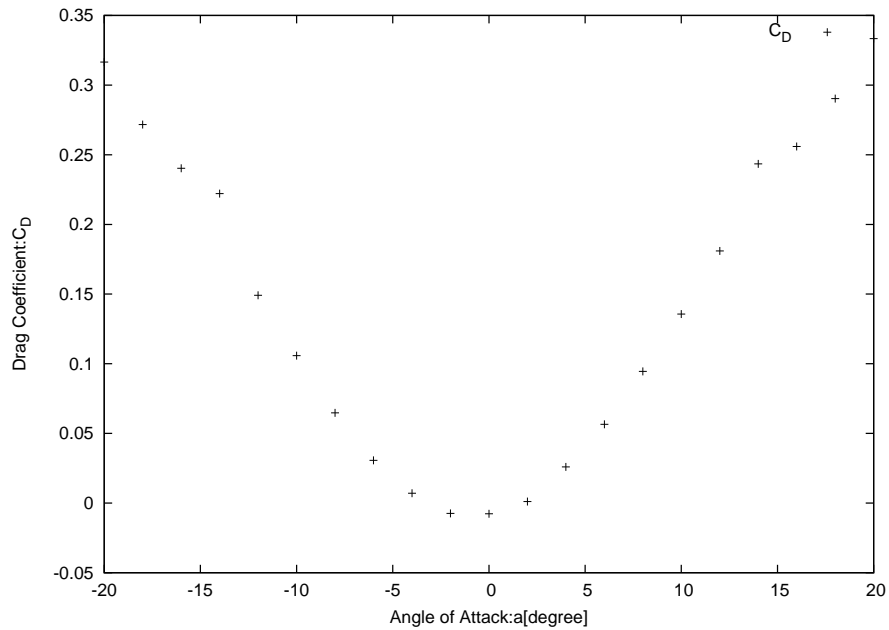


図 11:  $\alpha - C_D$

## 4 考察

力計測と圧力計測から得られた揚力特性と抗力特性について比較し、考察する

## 5 まとめ

## 6 参考文献

機械工学実験 2 実験書

## 7 風洞実験に対する感想・要望

物体が受ける風の影響は、飛行機に限らず車やバイクなどの高速で移動する物質を制作する上で無視できないものである。機械実験で簡単に体験できたのは良い経験となりました。