

令和3年度11月 報告書

報告書 NO.07 2021/12/1 来代 勝胤

報告内容

1. 校正実験の再実施
2. オフセット値の考慮
3. 卒業研究について
4. 実験装置の製作
5. 実験結果
6. 今月の進捗と12月の予定

1 校正実験の再実施

ロードセルを用いた校正実験において、微小な作用力に加わる範囲でロードセルの出力電圧に非線形領域が存在する懸念があったため、微小な作用力による出力電圧の変化を調べるための校正実験を行った。

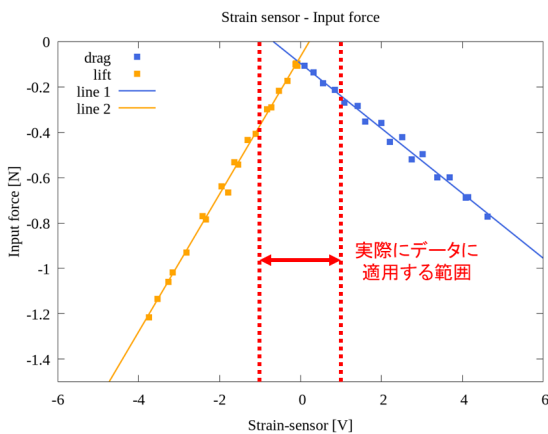


Fig.1 Range to use

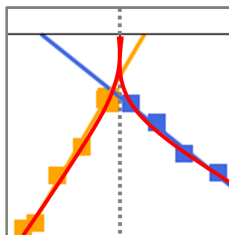


Fig.2 Non-linear region

1.1 校正実験 (1) ロードセルと荷重の関係

以下の Fig.1 に 2021 年 6 月に行ったロードセルの出力電圧と荷重に関する校正実験結果を示す。

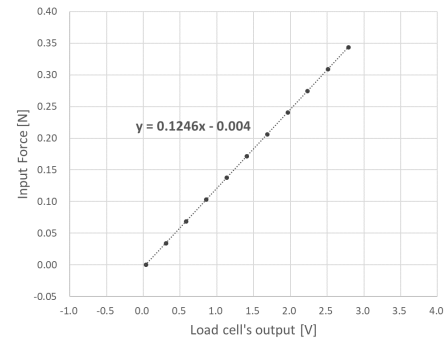


Fig.3 Previous data of load cell - input force

1.2 校正実験 (2) ロードセルとひずみセンサの関係

以下の Fig.2, Fig.3 に 2021 年 6 月に行ったロードセルとひずみセンサの出力電圧に関する校正実験結果を示す。

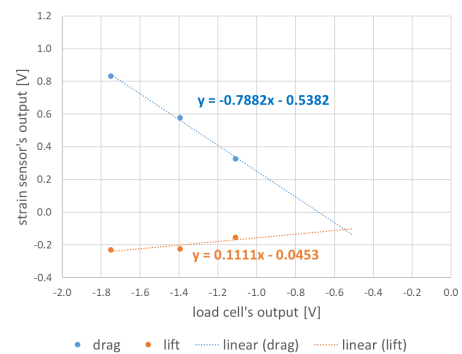


Fig.4 Previous data of load cell - strain sensors (drag)

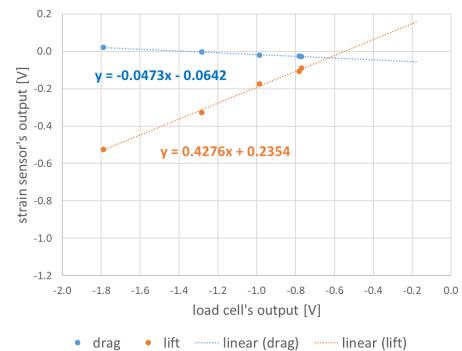


Fig.5 Previous data of load cell - strain sensors (lift)

1.3 再実施結果：抗力

以下の Fig.4 ~ Fig.6 に抗力方向の実験データを示す．
 なお，ロードセルを測定ごとに再設置し実験を行った．
 また，データは，採用点と後部の 9 点の計 10 点 (10 秒間) の平均を用いている．

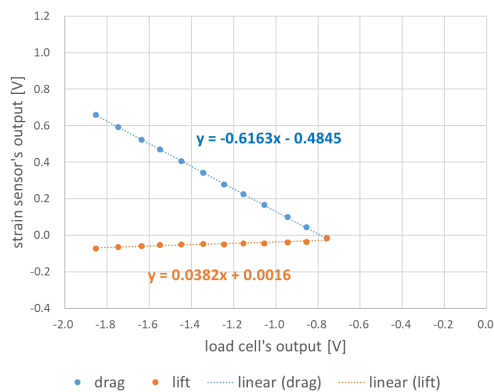


Fig.6 Re-experimental data of drag (1)

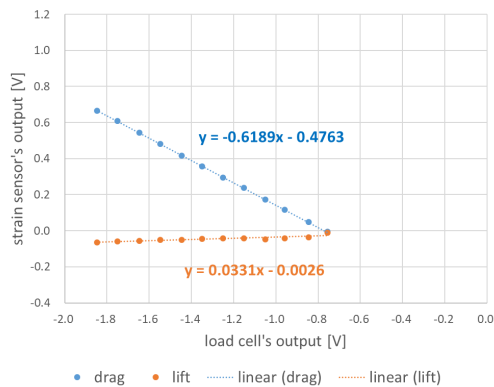


Fig.7 Re-experimental data of drag (2)

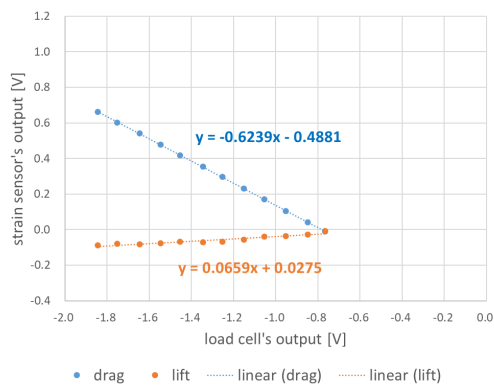


Fig.8 Re-experimental data of drag (3)

1.4 再実施結果：揚力

以下の Fig.7 ~ Fig.9 に揚力方向の実験データを示す．
 実験条件及びデータ解析方法は抗力方向と同様である．

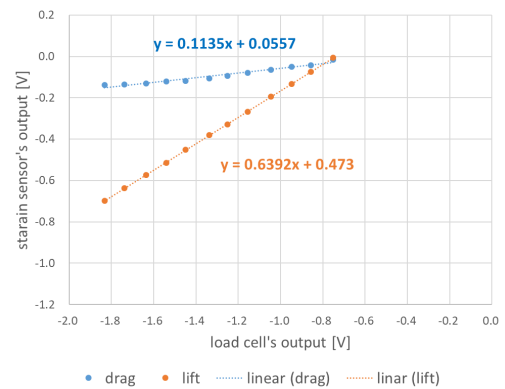


Fig.9 Re-experimental data of lift (1)

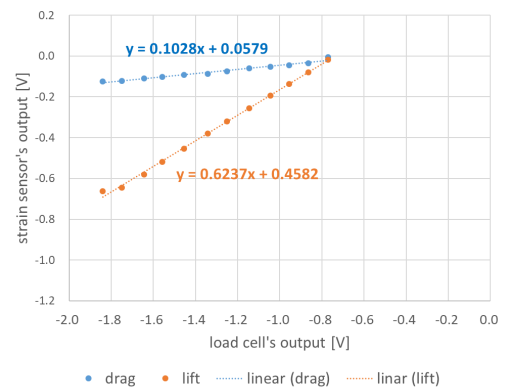


Fig.10 Re-experimental data of lift (2)

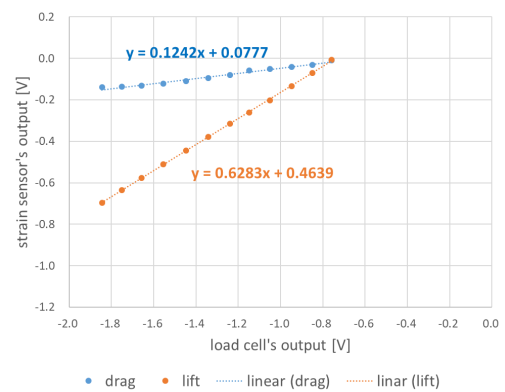


Fig.11 Re-experimental data of lift (3)

2 オフセット値の考慮

実験結果から，“原点を通らない”近似直線が算出されたことから，ロードセルのストレインアンプの出力電圧にオフセットがあると仮定した．そのオフセット値を，実験結果のロードセルの出力電圧から差し引いた値を採用することとする．

2.1 オフセット値の算出

実験の際にロードセルのストレインアンプは，バランスをとった後，0.720 付近の値を示すことが多くある．そこで，ロードセルに作用力が加えられていない状態の出力電圧を測定し，その平均値をオフセット値として採用することとした．算出したオフセット値は以下のようになった．今回は，60 秒間の測定値の平均を採用した．

$$\text{offset} = -0.728$$

2.2 オフセット値の適用

算出したオフセット値を以前の実験結果に適用した．

オフセット値適用前の実験結果

以下の Fig.12 , Fig.13 にオフセット値適用前の実験結果を示す．

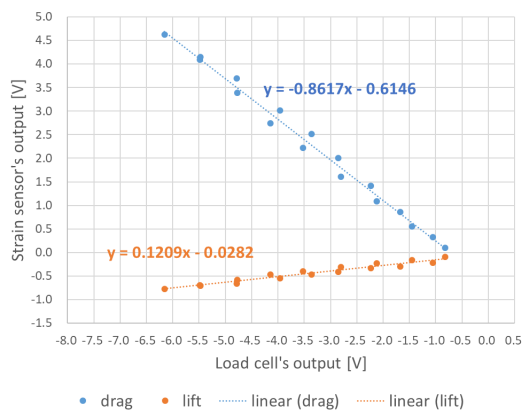


Fig.12 Result of load cell - strain sensor (drag)

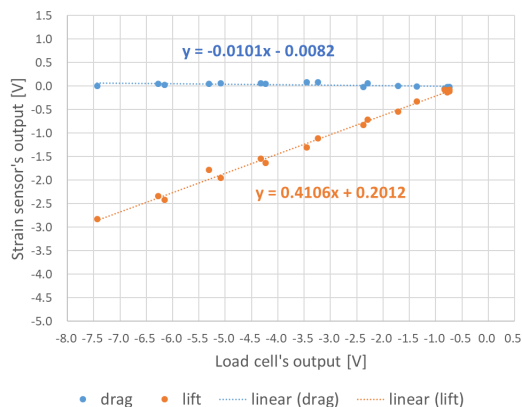


Fig.13 Result of load cell - strain sensor (lift)

オフセット値適用後の実験結果

以下の Fig.14 , Fig.15 にオフセット値適用後の実験結果を示す．

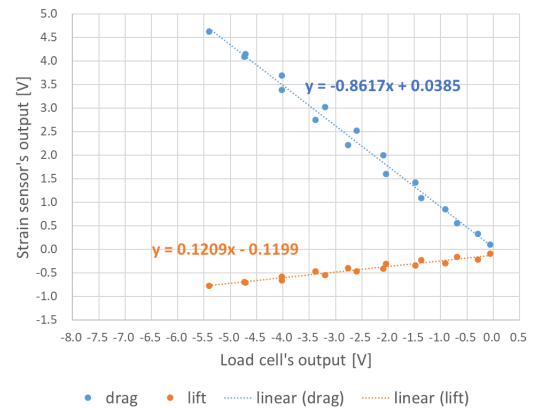


Fig.14 Considered offset value (drag)

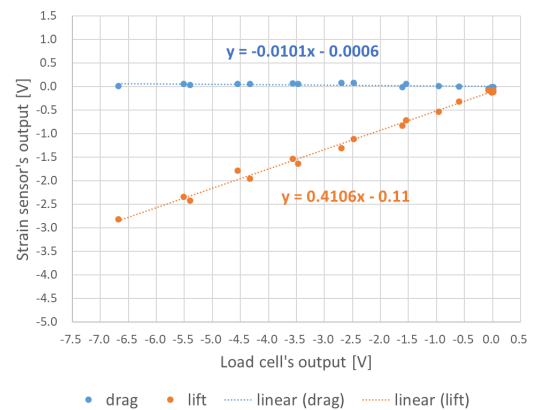


Fig.15 Considered offset value (lift)

結果分析

抗力方向の校正実験結果である Fig.12 と Fig.14 及び，揚力方向の校正実験結果である Fig.13 と Fig.15 を比較すると，算出したオフセット値を適用することで近似直線の開始点が原点に近づいていることがわかる．

2.3 校正実験結果を用いた換算式の算出

同様に，入力荷重とひずみセンサの出力電圧の関係についての結果を以下の Fig.16, Fig.17 に示す．なお，Fig.16 は Fig.1, Fig14 の結果，Fig.17 は Fig.1, Fig15 の結果を利用している．

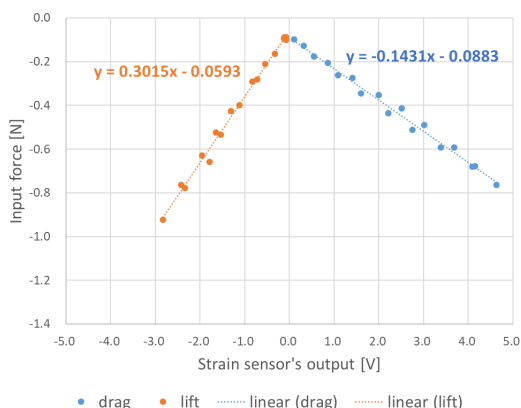


Fig.16 Correlation between input force and output voltage

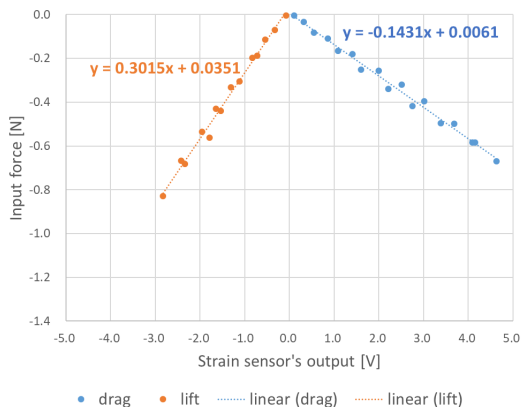


Fig.17 Considered offset values

結果分析

オフセット値の適用前 (Fig.16) とオフセット値適用後 (Fig.17) を比較すると，こちらもオフセット値を適用することで近似直線の開始点が原点に近づいていることが確認できる．

結論

したがって，ロードセルに用いているストレインアンブについては，バランスをとった後でも，実験結果にオフセット値を適用しなければならないことがわかった．

3 卒業研究について

現在のタイヤモデルの作用力測定について，荷重と出力電圧の関係を校正実験から得る必要がある．ここで，抗力・揚力の2方向からの作用力の関係を正しく評価することが非常に困難であり，ひずみセンサの取付方法や取付部の断面形状によって揚力と抗力に依存性が生じている可能性があると考えた．

3.1 研究目的

x 軸， y 軸方向に取り付けられたひずみセンサについて，作用力の方向による出力電圧への影響・取付部の断面形状の違いによる影響を調べ，その関係から作用力実験結果の出力電圧を荷重に適切に変換する方法を模索し提案することを目的とする．

3.2 研究方針

- (1) 現在の実験装置について，作用力の方向による出力電圧の変化を調べる．
→ 実験装置の特徴を理解し，これまでの出力電圧から作用力への変換過程における問題点を明確にする．
- (2) (1) の実験について，異なる断面形状を用いて出力電圧を測定する．
→ 断面形状の違いがどのような影響を及ぼすのかを明らかにし，2 ゲージ法での測定に望ましい断面形状を提案する．
- (3) (2) の結果より選定された断面形状の取付部を高感度ひずみセンサを用いて作成し，再度同様の実験を行う．
→ 現在使用しているひずみセンサとの比較実験を行い，その改善結果を示す．

3.3 比較実験の対象

ひずみゲージ取付部の断面形状の違いによる影響を調べるため，以下の断面形状について，比較実験を行う．

- (i) 円筒 (外形: $D_1 = 20.0[\text{mm}]$, 内径: $D_2 = 18.0[\text{mm}]$)
- (ii) 円 (直径: D)
- (iii) 正方形 (辺の長さ: L)

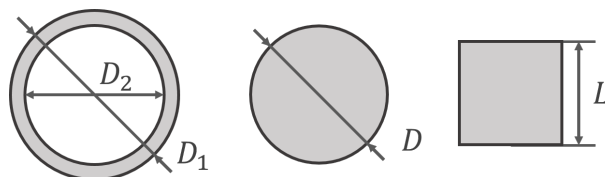


Fig.18 Cross-sectional shape of test pieces

3.4 比較形状寸法の算出

比較対象の寸法を決定するにあたり現在の実験装置で使用されている (i) 円筒を基準として、同等の断面二次モーメントを持つ形状とした。

(i) の円筒の断面二次モーメントを基準に算出した比較形状の寸法を以下に示す。なお、上記の ” 比較実験の対象 ” の記号に対応している。

3.4.1 算出結果

- (i) 円柱 … $D_1 = 20.0$ [mm] , $D_2 = 18.0$ [mm]
- (ii) 円筒 … $D = 15.3$ [mm]
- (iii) 角柱 … $L = 13.4$ [mm]

3.4.2 算出過程

- (i) 円筒 (外形: $D_1 = 20.0$ [mm] , 内径: $D_2 = 18.0$ [mm])

■ 断面二次モーメントの算出

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} (20^4 - 18^4) \\ &= \frac{\pi}{64} \times 55024 \\ &= 2700.98 \dots \\ &\approx 2701.0 \text{ [mm}^4\text{]} \end{aligned}$$

- (ii) 円 (直径: D)

■ 直径の算出

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} D^4 \\ \frac{\pi}{64} \times 55024 &= \frac{\pi}{64} D^4 \\ D^4 &= 55024 \\ D &= 15.31 \dots \\ &\approx 15.3 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

- (iii) 正方形 (辺の長さ: L)

■ 辺の長さの算出

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} L^4 \\ 2701.0 &= \frac{1}{12} L^4 \\ L^4 &= 2701.0 \times 12 \\ &= 32412 \\ L &= 13.41 \dots \\ &\approx 13.4 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

4 実験装置の製作

作用力方向の違いによる影響を調べるため、現在の実験装置を用いて仮実験を行うこととした。仮実験を行うにあたり、以下の Fig.19 の実験装置を作成した。

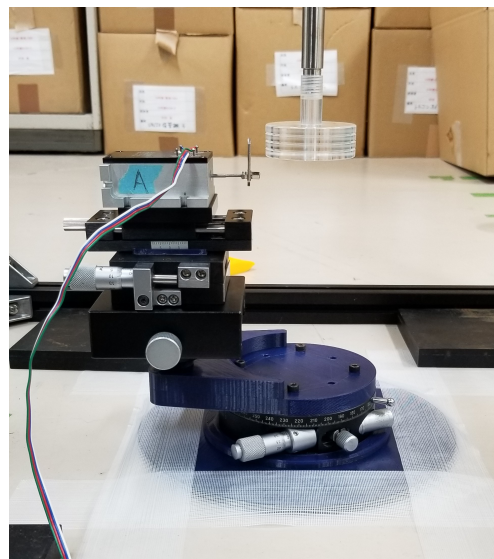


Fig.19 Experimental device

実験装置の概要は、以下の Fig.20 , Fig.21 のとおりである。角度を設定することのできる回転台とロードセルを 3D プリンタで製作したジョイントを用いて固定している。

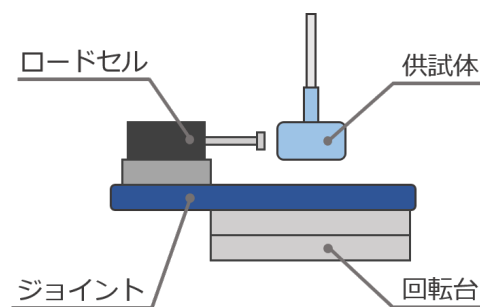


Fig.20 Schematic of experimental device (side view)

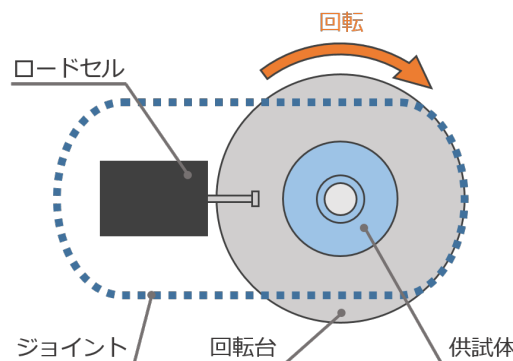


Fig.21 Schematic of experimental device (top view)

5 実験結果

製作した実験装置を用いて、試験的に実験を行った。その結果を以下に示す。今回は、30 度ずつ作用力方向を変化させ計 12 回の測定を行った。グラフにプロットしている値は、校正実験の再実施結果と同様に採用点とその後 9 秒間の計 10 秒間の平均値を使用している。また、ロードセルの出力電圧に関して、オフセット値を測定開始前 30 秒間の平均値とし、測定結果に適用している。

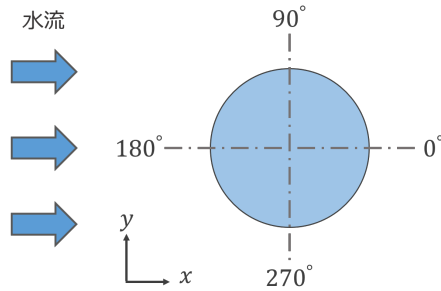


Fig.22 Axis of experimental equipment

5.1 各角度における測定結果

以下の Fig.23 ~ Fig.34 に各角度におけるひずみセンサの出力電圧の測定結果を示す。

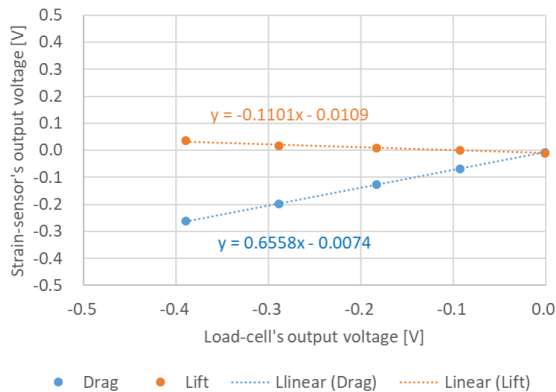


Fig.23 Acting force from 0 degree direction

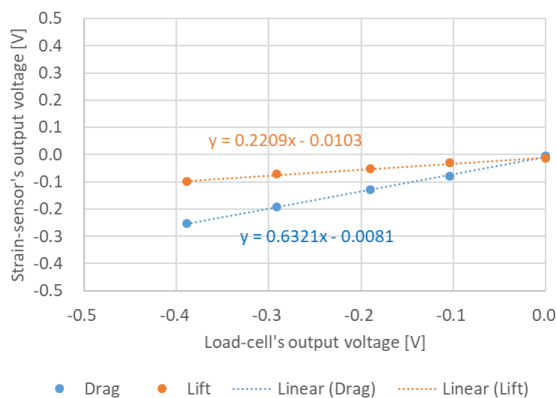


Fig.24 Acting force from 30 degree direction

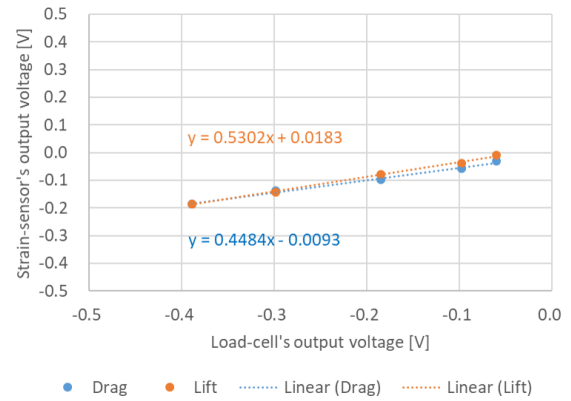


Fig.25 Acting force from 60 degree direction

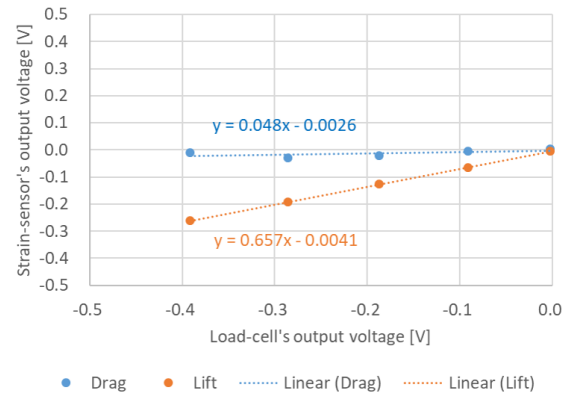


Fig.26 Acting force from 90 degree direction

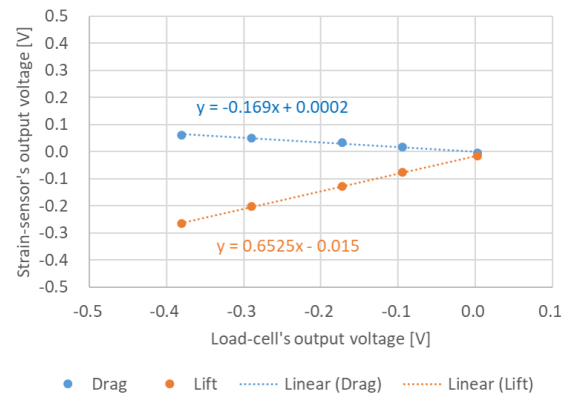


Fig.27 Acting force from 120 degree direction

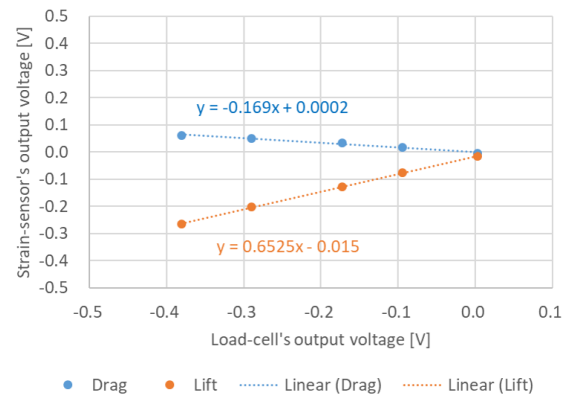


Fig.28 Acting force from 150 degree direction

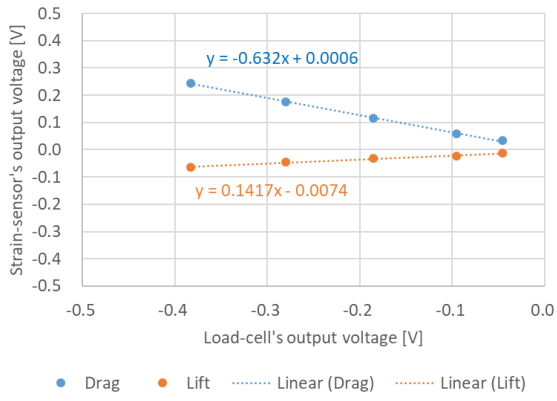


Fig.29 Acting force from 180 degree direction

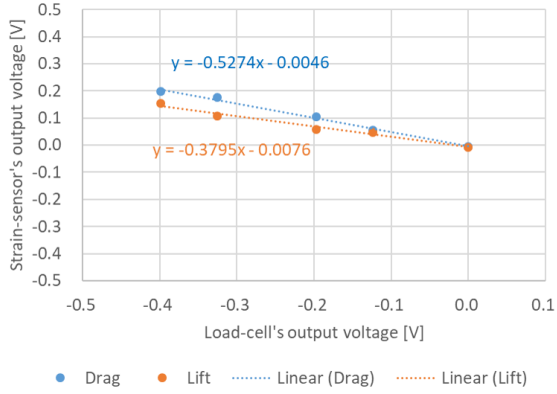


Fig.30 Acting force from 210 degree direction

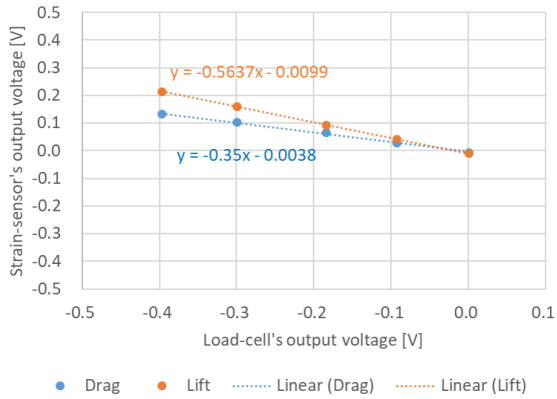


Fig.31 Acting force from 240 degree direction

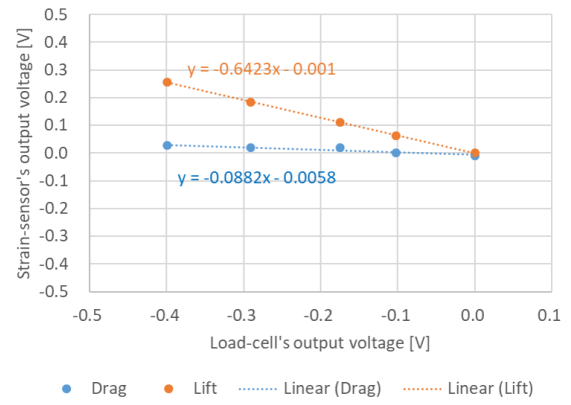


Fig.32 Acting force from 270 degree direction

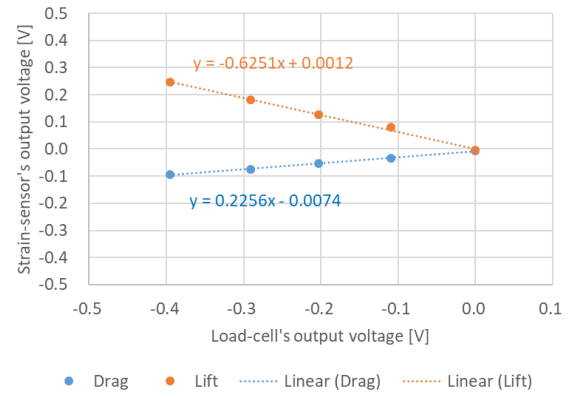


Fig.33 Acting force from 300 degree direction

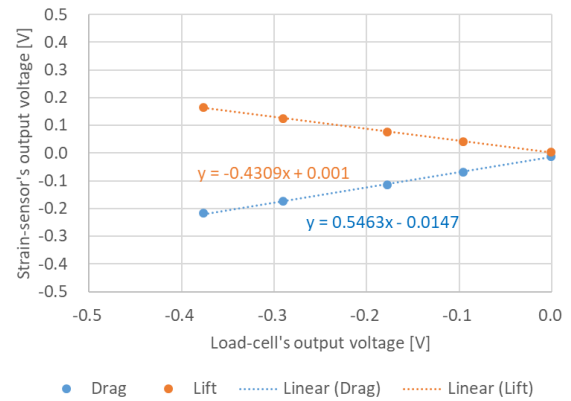


Fig.34 Acting force from 330 degree direction

5.2 作用力の角度と出力電圧の傾きの関係

Fig.23～34 について，抗力・揚力のそれぞれの近似直線の傾きと作用力方向の関係について以下の Table.1，Fig.35 に示す．

また，作用力方向の違いによって出力電圧にどのような影響があるかを調べるため，以下のように抗力と揚力の勾配比を算出した．

抗力・揚力の勾配比

$$(L/D : \text{勾配比}) =$$

$$\left| \frac{(L : \text{揚力側出力電圧の近似直線の傾き})}{(D : \text{抗力側出力電圧の近似直線の傾き})} \right|$$

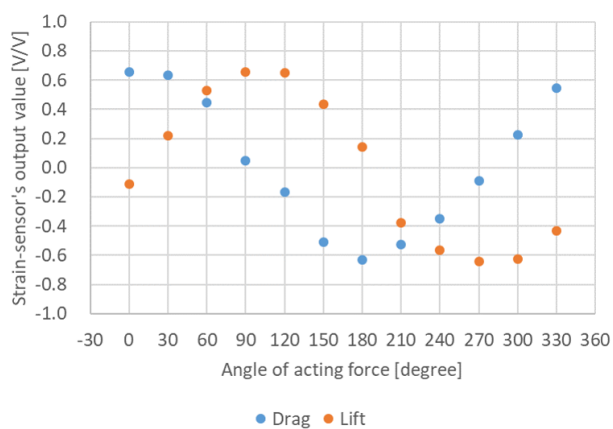


Fig.35 Experiment results

Table 1 Experiment results of gradient ratio

Angle [deg]	D [V/V]	L [V/V]	L/D [-]
0	0.656	-0.110	0.168
30	0.632	0.221	0.349
60	0.448	0.530	1.182
90	0.048	0.657	13.688
120	-0.169	0.653	3.861
150	-0.510	0.437	0.856
180	-0.632	0.142	0.224
210	-0.527	-0.380	0.720
240	-0.350	-0.564	1.611
270	-0.088	-0.642	7.282
300	0.226	-0.625	2.771
330	0.546	-0.431	0.789

5.3 理論値との比較

理論上の勾配比についても以下のように算出した．作用力ベクトルの大きさを 1 として，それぞれの角度 (30 度ごと) に供試体に作用したときに加わる作用力ベクトルの長さを抗力・揚力方向について算出し，その比をとることで理想的な作用力の比，すなわち勾配比を算出することができる．以下の Table.2 にその算出結果を示す．

Table 2 Calucuration of gradient ratio

Angle [deg]	Drag [-]	Lift [-]	L/D [-]
0	1.000	0.000	0.000
30	0.870	0.500	0.580
60	0.500	0.870	1.730
90	0.000	1.000	∞
120	-0.500	0.870	1.730
150	-0.870	0.500	0.580
180	-1.000	0.000	0.000
210	-0.870	-0.500	0.580
240	-0.500	-0.870	1.730
270	0.000	-1.000	∞
300	0.500	-0.870	1.730
330	0.870	-0.500	0.580

Drag 及び Lift は，作用力ベクトルの大きさ [-] を表す

Table.1 及び Table.2 の L/D 算出結果の関係を以下の Fig.36 に示す．

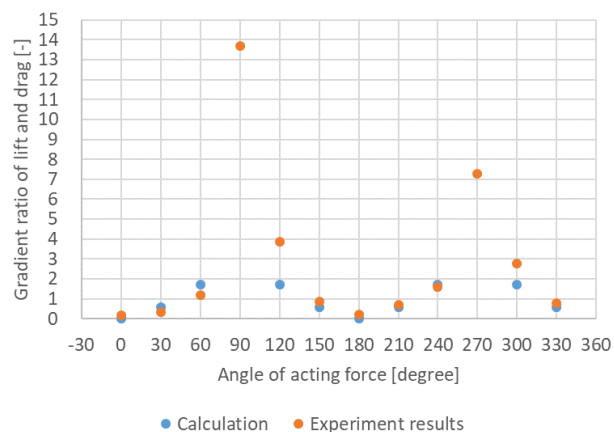


Fig.36 Gradient ratio of lift and drag

6 今月の進捗と 12 月の予定

■ 今月の進捗

- 再実験結果より ,抗力・揚力方向の出力電圧の依存関係を明らかに必要があることがわかった .
- ロードセルの出力電圧について ,オフセット値を考慮する必要があることがわかった .
- 2 方向に取り付けられたひずみセンサの特性について調べるため ,実験装置の製作を行っている .
- 簡易的に作成した実験装置を用いて ,実験を行った .

■ 12 月の予定

- 実験準備 (12 月上旬)
- 形状比較実験の実施 (12 月中旬 ~)