

平成 24 年度 卒業論文

# 羽ばたき飛翔体の ヨ一角度安定性に関する研究

福岡工業大学 工学部 知能機械工学科

09E1025 姜毅 092029 佐藤健太

指導教員 河村良行 教授

# 目次

第1章	緒言.....	1
第2章	羽ばたき飛翔体と実験装置及び実験準備.....	2
	2.1 羽ばたき飛翔体の機体詳細.....	2
	2.2 実験装置及び実験の手順.....	3
	2.3 羽ばたき飛翔体支持装置.....	4
	2.4 羽ばたき飛翔体固定器具.....	5
	2.5 レーザー受光板.....	5
	2.6 羽ばたき飛翔体のヨー角度の計測法.....	6
	2.6.1 レーザー変位計でのヨー角度の計測.....	6
	2.6.2 データロガーによるヨー角度変化の記録.....	7
	2.6.3 羽ばたき飛翔体の時間経過に伴うヨー角度の変化.....	8
第3章	実験.....	9
	3.1 揚力の測定と飛行状態の検証.....	9
	3.1.1 ロードセルの校正.....	9
	3.1.2 校正方法の詳細.....	10
	3.1.3 ロードセルを用いた揚力の計測.....	11
	3.1.4 揚力の計測方法.....	11
	3.1.5 揚力計測条件と結果及びヨー角度変化の計測と結果.....	12
	3.2 迎角，風速に対しての羽ばたき周波数の変化と羽ばたき周波数の制御と結果.....	15
	3.3 “風見鶏効果”の計測.....	17
	3.3.1 風見鶏効果の計測.....	17
	3.3.2 ヨー角度の変化開始点と記録開始点の同期及び結果.....	17
第4章	結言.....	21
	参考文献.....	21

実験装置の図面、

# 第1章 諸言

前卒業研究の段階において簡単な模型の羽ばたき飛翔体を製作した。そして自由飛行時の姿勢を観察したところ、羽ばたき飛翔体はふらつきが少なく、非常に安定していることが分かった。また、羽ばたき飛翔体の翼を固体した場合は安定性を失いふらつきが生じ、左右へ落下する。そこで、本研究ははばたく動作が、ヨー角度の変化にどのような影響を及ぼしているのかについて検証した。また、羽ばたき飛翔体のヨー角度の変化を何度か計測すると、特に迎角が大きく、風速が早い条件では羽ばたき飛翔体は風洞装置の方へ向きやすくなるという風見鶏のような動作をすることが多いことに気付いた。そこで、羽ばたき飛翔体にも“風見鶏効果”があるのかについても合わせて検証した。

## 第2章 羽ばたき飛翔体と実験装置及び実験準備

### 2.1 羽ばたき飛翔体の機体詳細

本研究に使用した羽ばたき飛翔体を示す。この羽ばたき飛翔体は、遠隔操作で飛行する4枚翼の鳥型の玩具であったものを外装、バッテリー、制御装置、翼、尾翼を取り外し本研究に使用した。

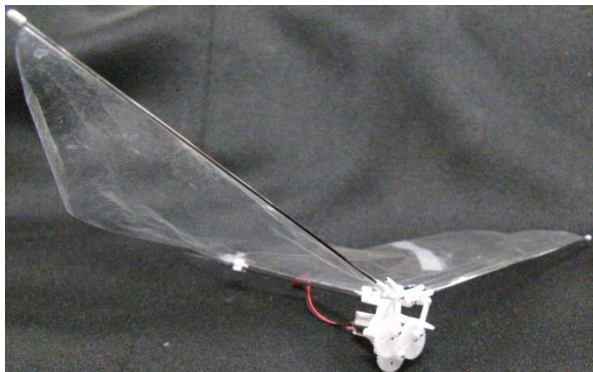


図 2.1.1 羽ばたき飛翔体

表 2.1.1 はばたき飛翔体の仕様

項目	諸元	詳細
寸法	翼長	280[mm]
	全幅	90[mm]
	重量	5[g]
はばたき角度	上方向	約20度
	下方向	約10度

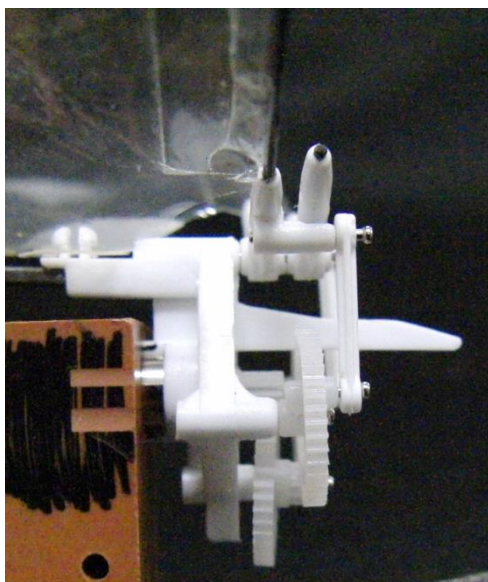


図 2.1.2 羽ばたき飛翔体のギヤ部 (側面)

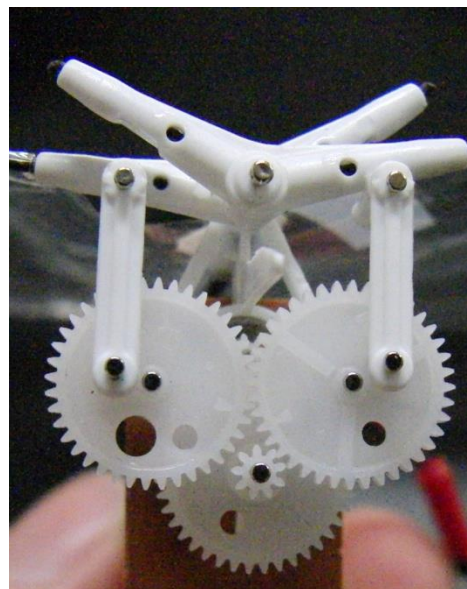


図 2.1.3 羽ばたき飛翔体のギヤ部 (正面)

## 2.2 実験装置及び実験の手順

本研究で使用した実験装置について以下に記述する. 本研究の全体を通しておこなったヨー角度計測のための実験装置全体図を示す.

羽ばたき飛翔体は固定器具を介して金属棒で支持し, 金属棒はアクリルパイプに挿入されたベアリングに固定しており回転するようになっている. その金属棒の回転をレーザー変位計で計測するが, 金属棒自体の回転量は計測できないので, 金属棒にレーザー受光板 (計測板) を取り付けその変位量を計測する. 計測した距離の変位量からヨー角度を計算で求めた.

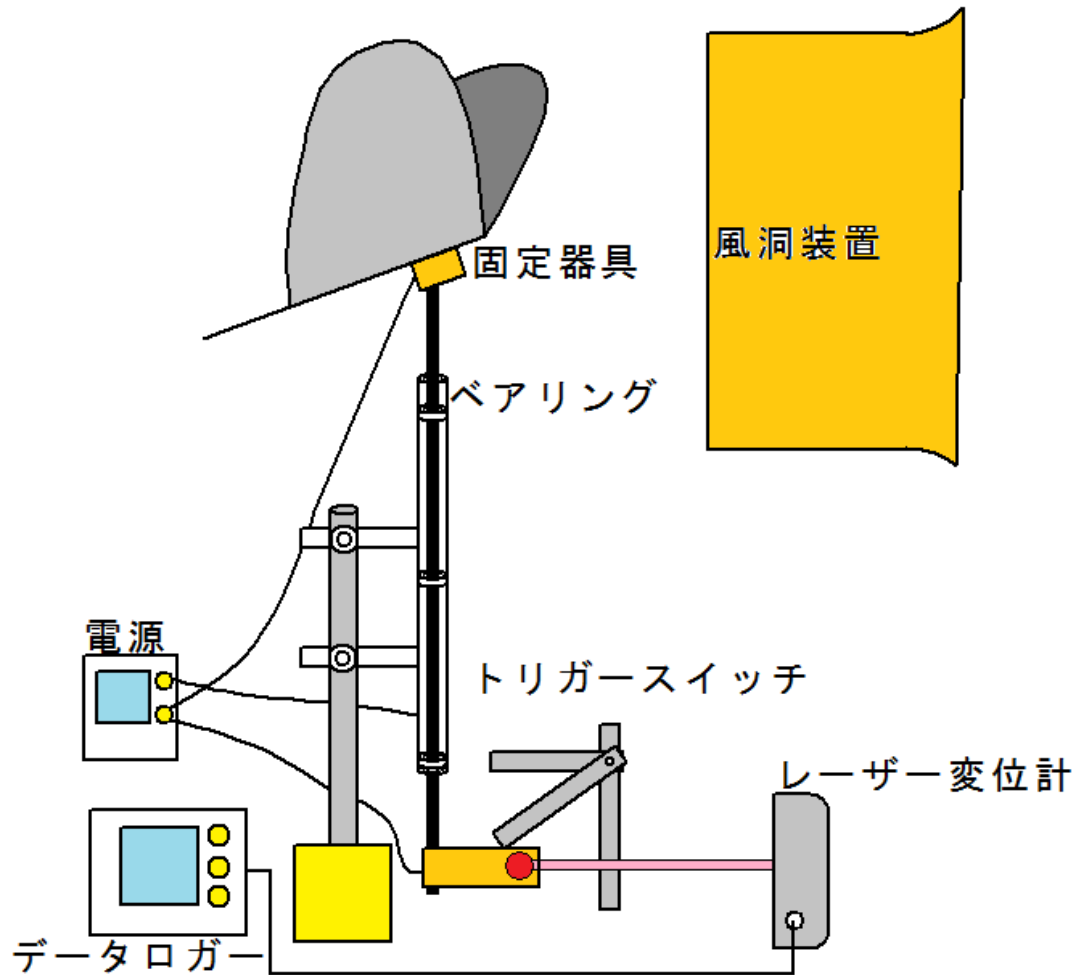


図 2.2.1 実験装置全体図

## 2.3 羽ばたき飛翔体支持装置

本研究の実験で使用する羽ばたき飛翔体支持装置を製作した。この実験装置は羽ばたき飛翔体を支持し、ヨー角度の計測をおこなうため、羽ばたき飛翔体の自由なヨー角度の変化を妨げない構造になっている。実験装置の詳細について記述する。

羽ばたき飛翔体を支持するための金属棒は、直径 2mm のピアノ線とした。そのこの金属棒を支持する構造をとるように実験装置を考案している。直径 12mm、内径 6mm のアクリルパイプを所定の長さに切り出し、そのアクリルパイプの中に直径 6mm 内径 2mm のベアリングを 3 つ挿入した。このベアリングは金属棒の上下の動きを制限し、なおかつ羽ばたき飛翔体のヨー角度の変化を妨げない滑らかな回転をするものである。また、この金属棒は後述の固定器具を介して羽ばたき機を固定し、ヨー角度の計測に利用するレーザー受光板も取り付ける。このアクリルパイプで製作した羽ばたき飛翔体支持装置は、設置場所の移動も考慮しマグネットスタンドを用いて金属製の板の上で固定することとした。



図 2.3.1 羽ばたき飛翔体支持装置

## 2.4 羽ばたき飛翔体固定器具

ケミカルウッドを加工し、羽ばたき飛翔体を金属棒に取り付けるための固定器具を製作した。この固定器具は、羽ばたき飛翔体のモーター部分を掴むことで固定できる。また、金属棒を挿入する穴の穴開け角度を変更することで羽ばたき飛翔体の迎角の変更もおこなえる。

製作した固定器具は0度を1つ、10度20度30度を2つずつ、ロードセル用の固定器具を1つである。また、固定器具に金属棒を挿入しただけでは、羽ばたき飛翔体の羽ばたきによる振動により、固定器具と金属棒は空回りしてしまい正確なヨー角度の変化を計測できないため、金属棒と接触するように直径3mmのイモネジで固定している。

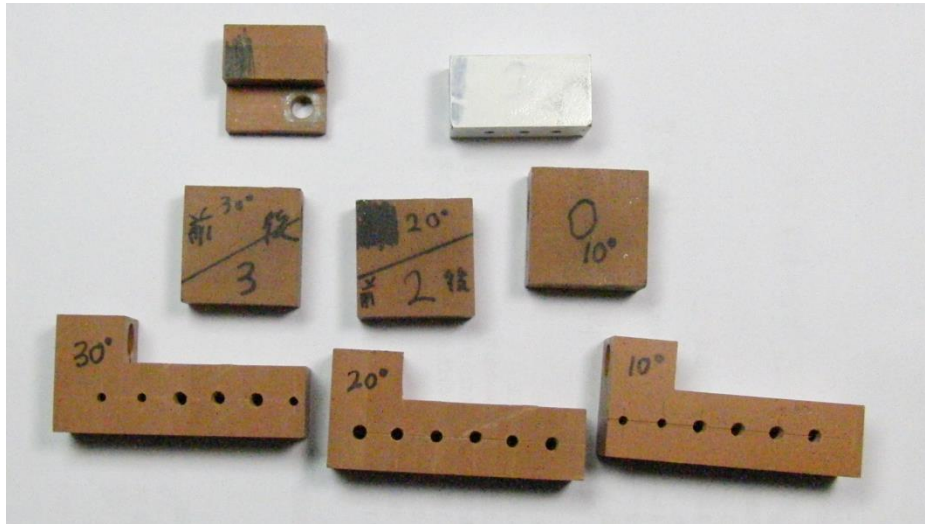


図 2.4.1 羽ばたき飛翔体固定器具

## 2.5 レーザー受光板

この受光板も羽ばたき飛翔体固定器具と同じケミカルウッドを加工し製作した。このレーザー受光板は軽く、羽ばたき飛翔体のヨー角度の変化に与える影響は少ないと思われたため、ヨー角度の計測用途にこの部品を採用した。このレーザー受光板も羽ばたき飛翔体固定器具と同じく、金属棒との空回り防止のために、直径3mmのイモネジを締め込み金属棒と固定している。

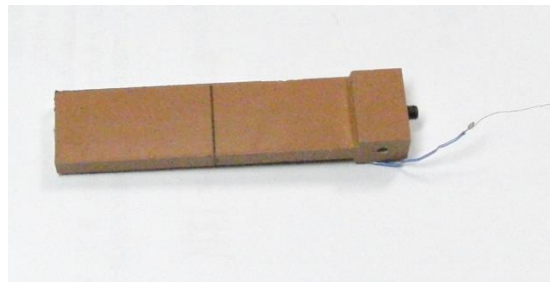


図 2.5.1 レーザー受光板

## 2.6 羽ばたき飛翔体のヨー角度変化の計測法

### 2.6.1 レーザー変位計でのヨー角度の計測

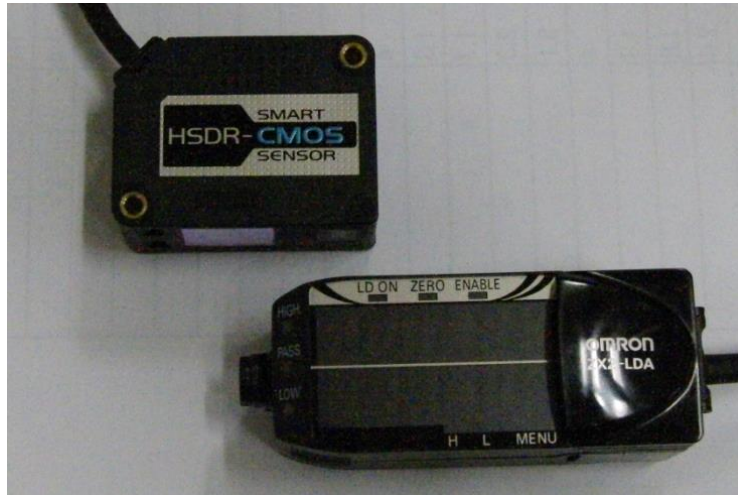


図 2.6.1.1 レーザー変位計

羽ばたき飛翔体のヨー角度の変位量を計測するため、オムロン製のレーザー変位計 ZX2-LD100 を用いた。このレーザー変位計は対象物までの距離の変位量を計測するものであり、角度の計測を目的とした計測器ではない。したがって、前述の金属棒の先端にレーザー受光板を取り付け、その移動量を計測しヨー角度を求めている。その概要を図 2.6.1.2 に示す。ここでは  $\theta$  [deg] はヨー角度、 $Y$  [mm] は変位置量、 $X$  [mm] は金属棒からレーザー照射点までの距離である。計算式を

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right) \quad (2.6.1.1)$$

に示す。なおこのレーザー変位計の計測範囲は  $\pm 35$  mm 出力電圧範囲は  $\pm 5$  V であるので、出力電圧あたりの距離は  $\pm 1$  V あたり  $\pm 7$  mm となる。

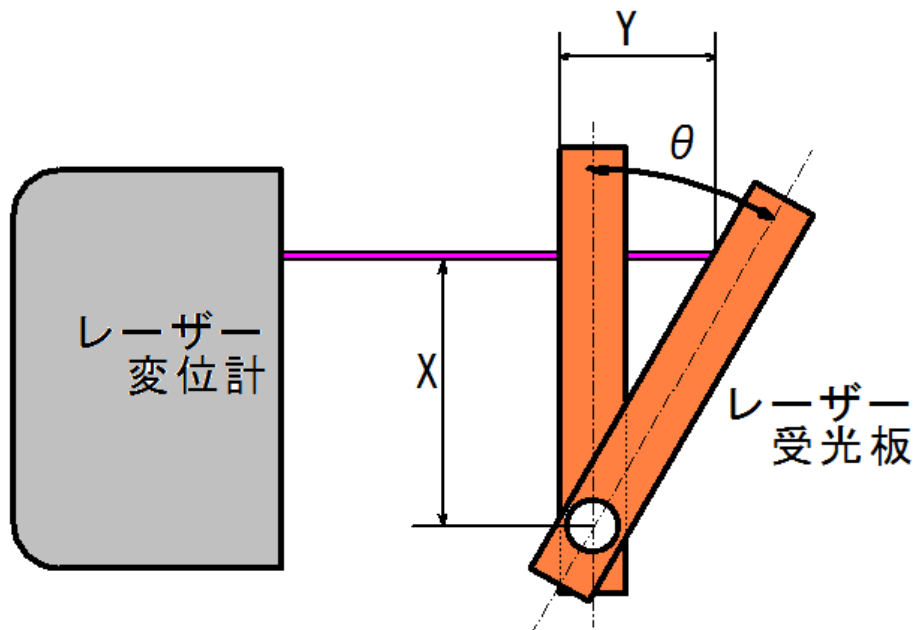


図 2.6.1.2 レーザー変位計を用いた変位置量計測方法



## 2.6.2 データロガーによるヨー角度変化の記録

レーザー変位計は、距離の変位量を電圧の増減で出力するので前述の計算式を用いて出力電圧値の増減を距離に換算しその結果を角度に換算しなければヨー角度の変化量はわからない。出力電圧値から距離、距離か角度への換算はPCの表計算ソフトでおこなう必要がある。この一連の作業をおこなうためにはレーザー変位計の出力電圧値を一旦保存しPCに出力できる機器が必要である。そこで本研究では横河電機製のDL-850 データロガー図2.6.2.1を用いて、レーザー変位計の電圧出力値を取り込み保存に使用することとした。

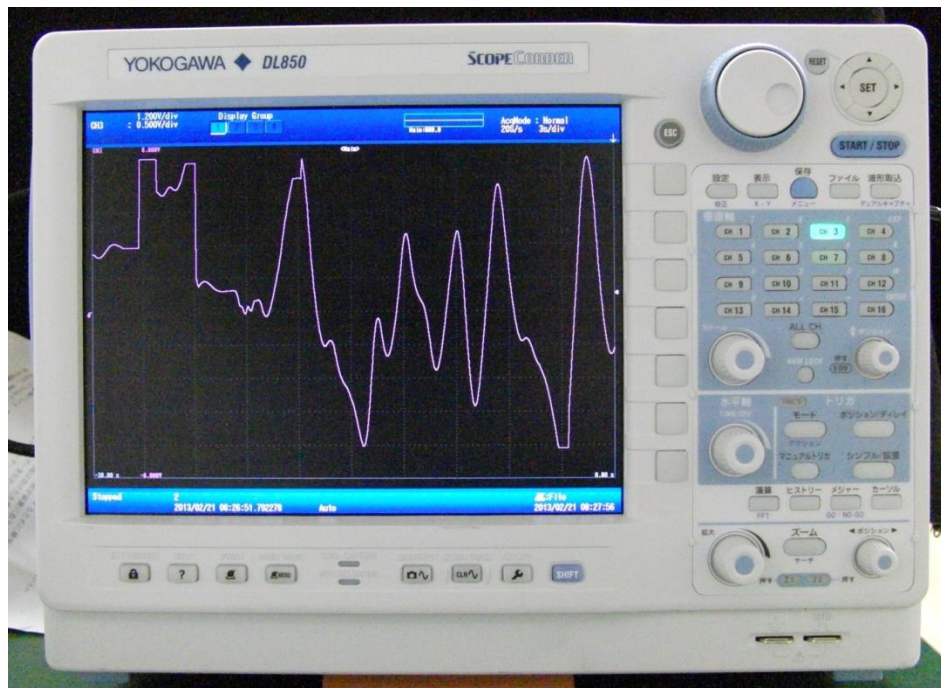


図 2.6.2.1 データロガー

このデータロガーにレーザー変位計の出力電圧値を取り込み、取り込んだデータをUSBメモリに保存した後、PC上で表計算ソフトを用いて角度の計算をおこなった。

### 2.6.3 羽ばたき飛翔体の時間経過に伴うヨー角度の変化

迎角、風速、駆動電圧の条件をそれぞれ変更し、羽ばたき飛翔体が羽ばたいている時のヨー角度の変化を30秒間計測した。迎角は10、20、30度、風速は0.5~3.0m/sまで0.5m/sずつ、駆動電圧は1~4Vまで1Vずつの条件をそれぞれ変更し、この計測をおこなった。結果のひとつとして、風速2m/s、電圧2Vの条件で計測し、取得したデータのグラフを図2.6.3.1に示す。なお、ヨー角度0度とは、風洞装置に対して正面であることを示している。

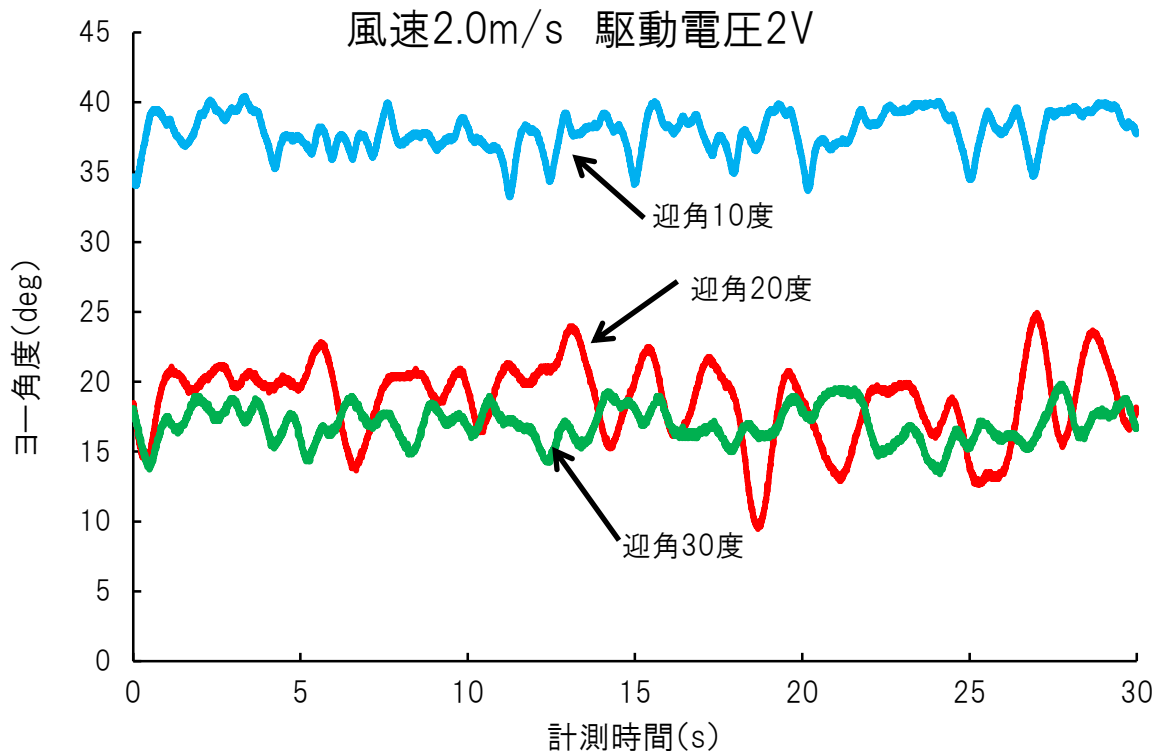


図 2.6.3.1 各迎角設定時のヨー角度の変化

グラフより、羽ばたき飛翔体のヨー方向の角度変化が一定の安定を見せるのは、角度0度ではないことがわかる。風速をより増加させると、0度に近づく結果となるが、このデータの計測時の設定風速2m/sでは傾きが認められる。また迎角10度より20度の方が傾きは小さく、迎角20度と30度の比較ではヨー角度の変化が小さい。このグラフに示した結果はわかりづらいものとなっているが、その他の条件設定時ではより顕著なものとなった、垂直尾翼を装着した状態での計測も行ったが、この計測でも装着していない時と同様の傾向が認められた。しかし、風洞装置の速度が低速の時であっても、ヨー角度の変化量が小さくなった。しかし、これは垂直尾翼が持つ、姿勢を安定させようとする力が働いたためであると考えられ、羽ばたきによって得られたものではない。

## 第3章 実験

### 3.1 揚力の測定と飛行状態の確認

#### 3.1.1 ロードセルの校正

ロードセルを本研究では揚力と推進力の計測に用いた。計測に使用する前にロードセルの校正をおこなった。この校正ではロードセルの荷重 (g) に対する電圧 (mV) を調べた。

図 3.1.1.1 のようにロードセルを設置した。図 3.1.1.1 は既にはばたき飛翔体を固定する器具のみ取り付け、重りの 1 円硬貨を数枚重ねた状態である。なおアンプも併せて設置し配線の接続をおこなっている。ロードセルは、荷重に対して一定の電圧を出力するようになっている。今回の校正では、荷重を徐々に増やし、出力される電圧をオシロスコープで確認するという計測をおこなったうえで校正を施すという方法をとった。

ロードセルの荷重として 1 円硬貨を使用した。1 円硬貨の使用理由については、1 円硬貨の重量は 1 枚で 1g でありなおかつ一定の形状であるため積み重ねが容易であり、今回のような数枚重ねた状態で錘として使用するのに適していると考えたからである。

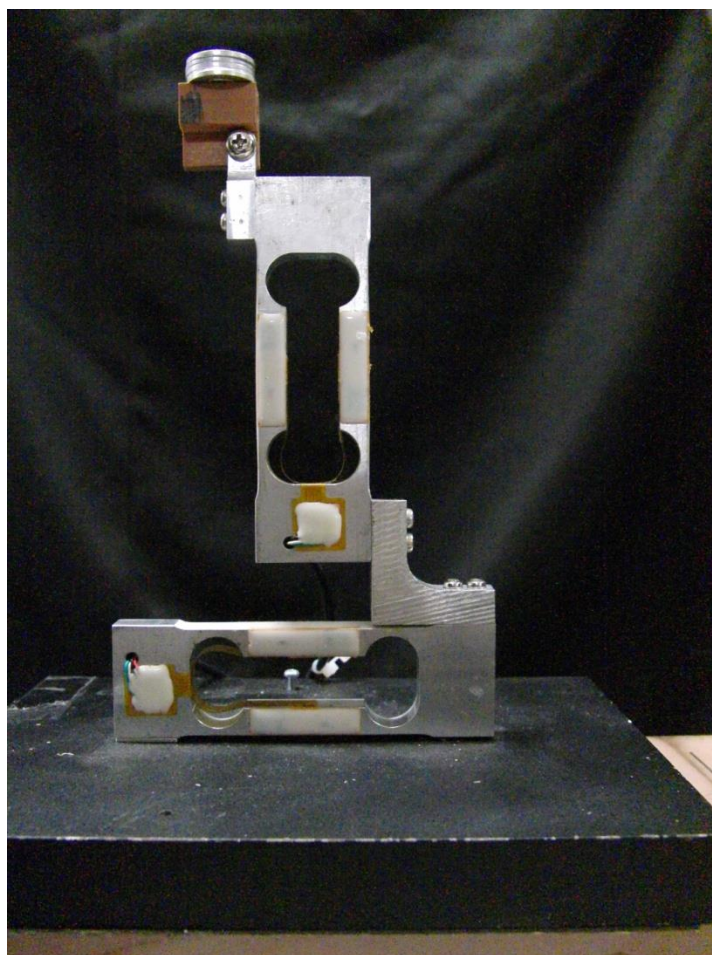


図 3.1.1.1 設置済みロードセル

### 3.1.2 校正方法の詳細

1円硬貨を1枚ずつ合計10枚積み重ねていき、1枚重ねる度にオシロスコープで電圧の確認をした。この測定を2度繰り返し、それぞれの値から平均を求め結果として採用した。その結果を図3.1.2.1と表3.1.2.1に示す。結果を見ると、荷重の増加の割合と電圧の増加の割合がほぼ等しいが、0.375mVのばらつきが認められる。

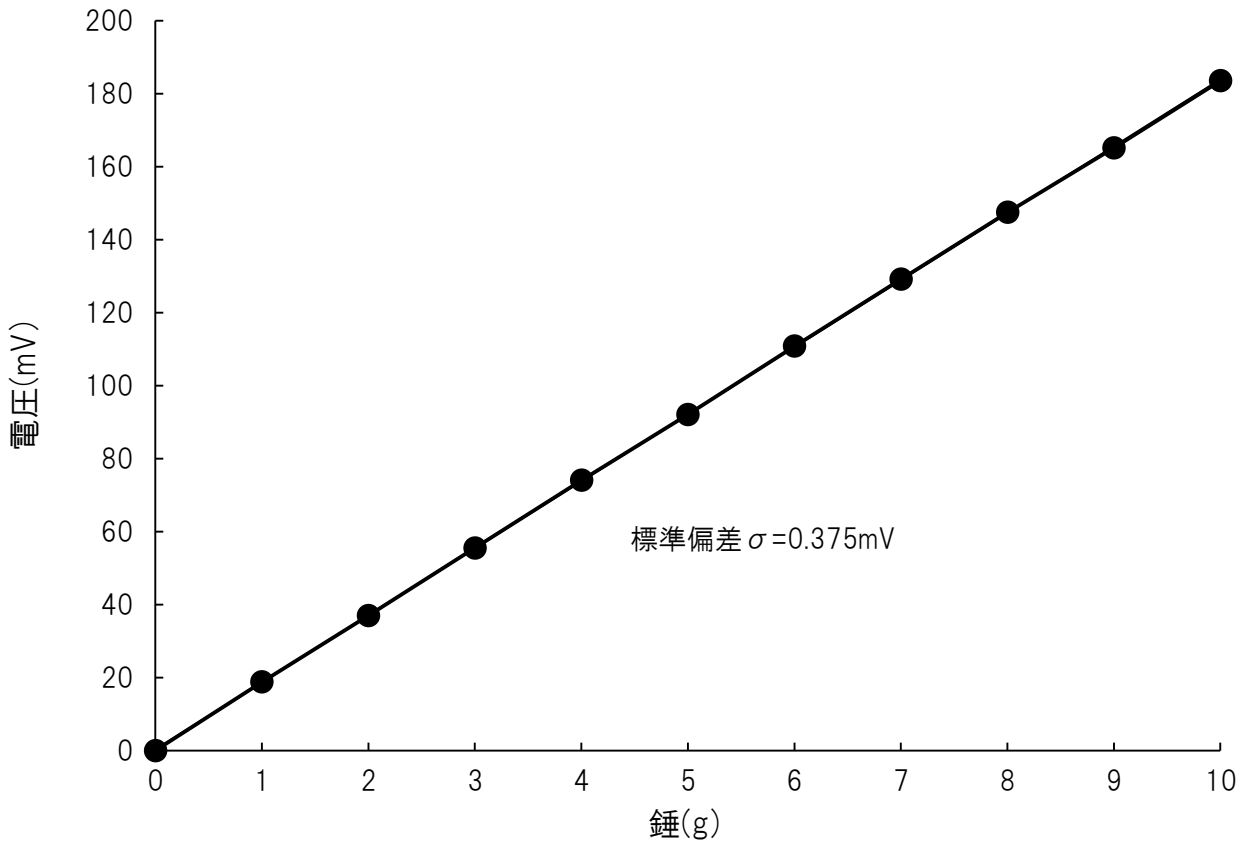


図 3.1.2.1 ロードセルの校正結果グラフ

表 3.1.2.1 ロードセルの校正結果表

錘(g)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
計測電圧(mV)	0	18.81	37.01	55.54	74.08	92.11	110.8	129.1	147.5	165.1	183.5

### 3.1.3 ロードセルを用いた揚力の計測

前述のロードセルの校正結果をもとに羽ばたき飛翔体の揚力の計測をおこなった。羽ばたき飛翔体は固定翼の飛行機と違い、羽ばたくという動作で揚力を生み出している。揚力を生み出す方法が違えば、発生する揚力にも何らかの特徴が表れるのではないかと考え計測をおこなった。この計測は飛行状態でおこなった。飛行状態とは図 3.1.3.1 のように推進力と抗力、重力と揚力が釣り合っている状態で、一定の速度で飛行しているという状態である。なお駆動電圧の増減で羽ばたき周波数を調整し、推進力と抗力の釣り合いをとっている。

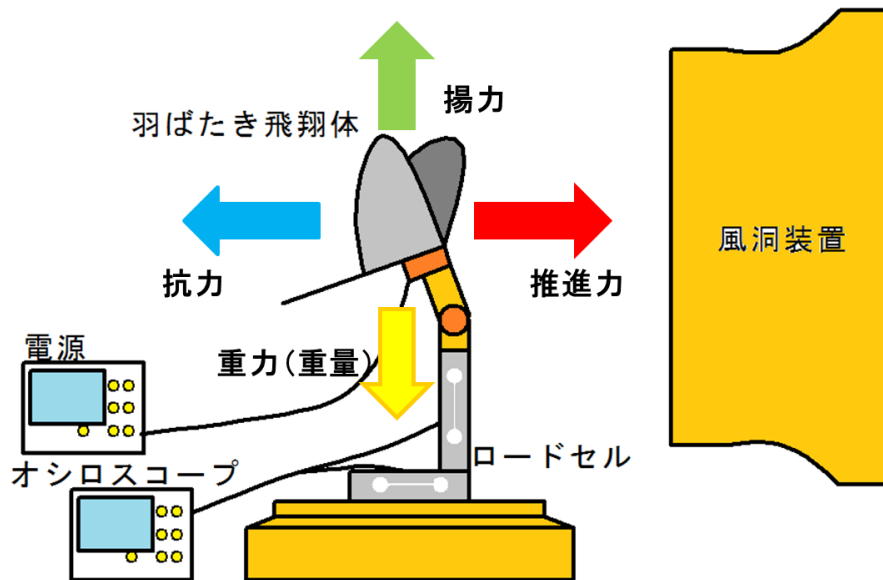


図 3.1.3.1 羽ばたき飛翔体の力の釣り合い

### 3.1.4 揚力の計測方法

図 3.1.3.1 のように予め風洞装置の気流吹き出し口にロードセルを設置し機体を固定する。固定する際の迎角は任意の角度である。風洞装置を使用し、任意の風速を設定する。モーター駆動電圧は安定化電源を使用し推進力と抗力が釣り合うように調整した。

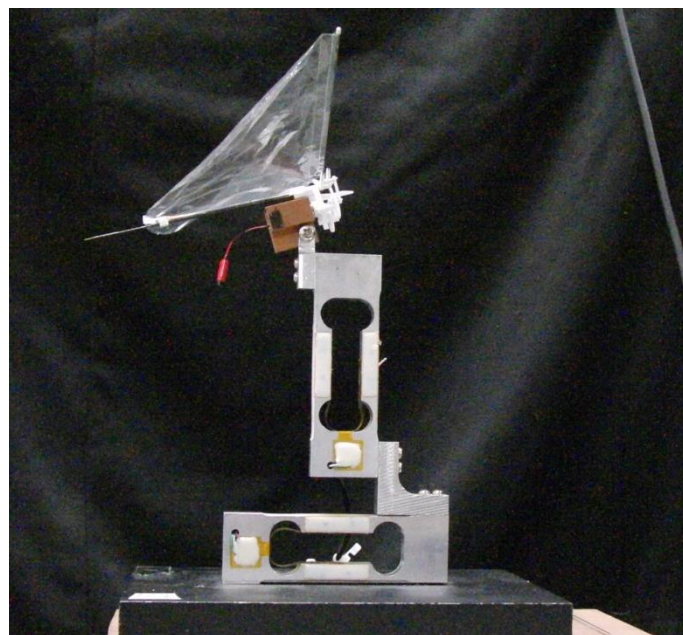


図 3.1.3.1 羽ばたき飛翔体を設置したロードセル

### 3.1.5 揚力計測条件と結果及びヨー角度変化の計測

迎角は10度、20度、30度、風洞装置の風速は0.5～3.0m/sまで0.5m/sずつ合計6つの風速を設定し、計測をおこなった。ロードセルの出力値はオシロスコープで確認する。なお、同一の迎角及び風速での計測をおこない、モーターに駆動電流を流し風洞装置を作動させた後、ロードセルの出力電圧値が安定した際の値を3回求め平均値とし結果とする。測定した結果を表3.1.5.1と図3.1.5.1に示す。なお今回の計測では、羽ばたきにより得られる推進力と抗力が釣り合わなくなった条件（文字が反転している部分）があるが、参考までに表、グラフに示している。また今回の計測において釣り合っている場合とは推進力と抗力の差が1g以下の状態と定義している。

表3.1.5.1 揚力の測定結果

迎角	風速(m/s)	駆動電圧(V)	推進力(g)	揚力(g)
10度	0.5	1.0	0.1	0.4
	1.0	1.2	0.1	1.0
	1.5	1.7	0.1	1.8
	2.0	2.1	0.1	3.2
	2.5	2.5	0.0	1.0
	3.0	3.4	0.0	4.3
20度	0.5	1.0	0.0	0.7
	1.0	1.5	0.0	2.0
	1.5	1.9	0.0	2.4
	2.0	2.5	-0.1	5.8
	2.5	3.0	-0.4	7.7
	3.0	4.0	-0.9	9.3
30度	0.5	1.2	0.0	1.1
	1.0	1.8	-0.3	3.1
	1.5	3.0	-0.4	6.8
	2.0	4.0	-1.3	9.7
	2.5	4.0	-2.3	12.4
	3.0	4.0	-2.2	12.3

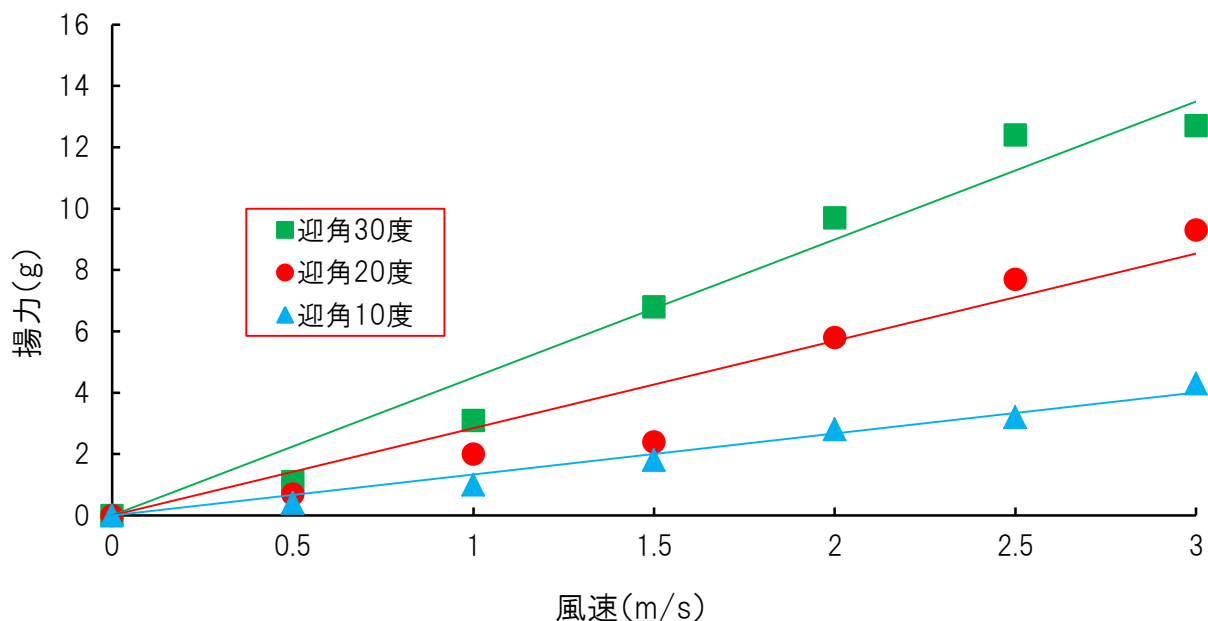


図3.1.5.1 揚力の計測結果

飛行状態の計測結果をもとに、各迎角設定におけるヨー角度の変化を計測した。なお迎角 10 度、20 度では一定以上のヨー角度で直線的な結果を示している個所を楕円の図形で囲んでいるが、その個所は“ヨー角度の変化がレーザー変位計の計測範囲外に及んだ”という結果となっている。また迎角 30 度では、一定上のヨー角度であっても計測範囲に入っている。これはレーザー変位計の応答性の問題で、比較的にレーザー受光板の回転速度（変位速度）が緩やかな場合はかなり広い範囲を計測できるが、レーザー受光板の回転速度が速いと、その変化速度にレーザー変位計が対応しきれず“計測範囲外”という結果になると考えている。

### 迎角10度

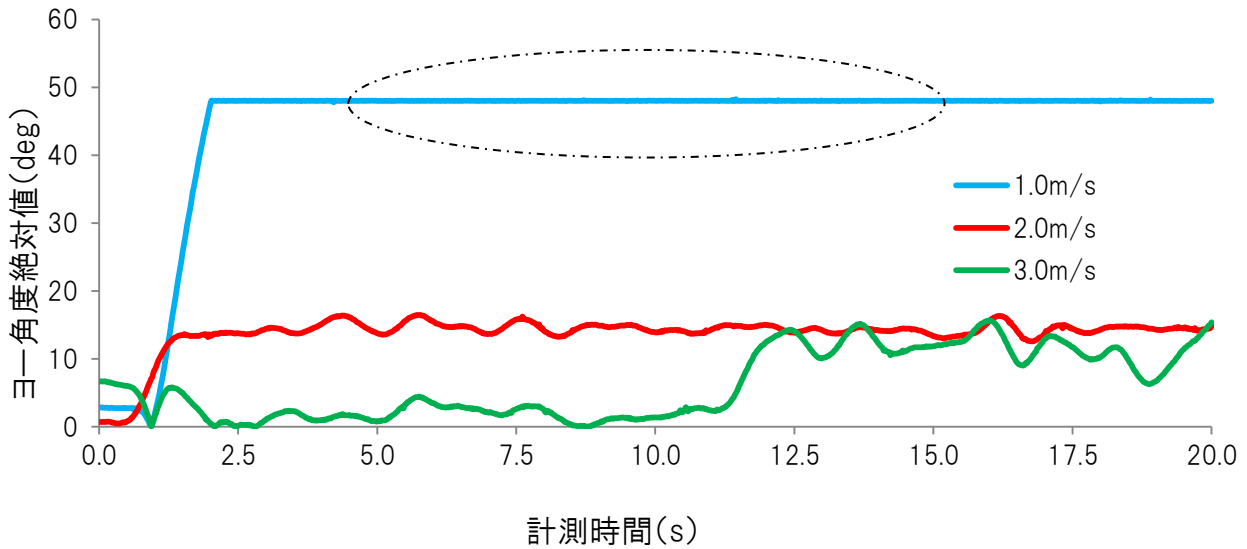


図 3.1.5.2 迎角 10 度飛行状態時のヨー角度変化

### 迎角20度

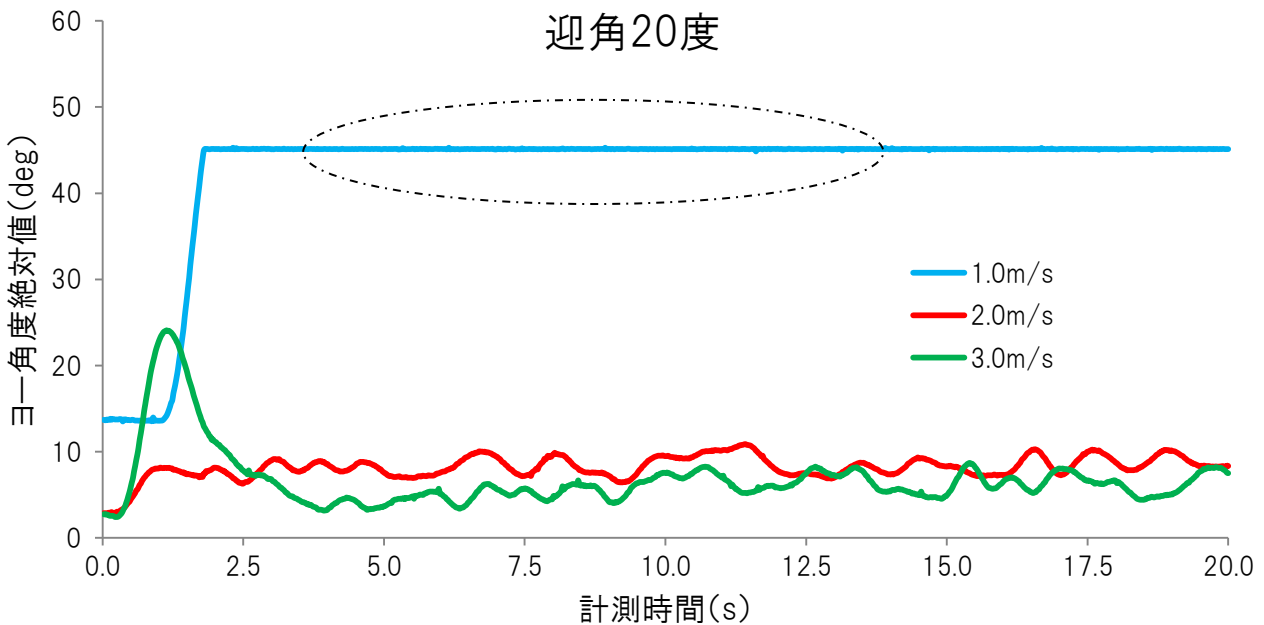


図 3.1.5.3 迎角 20 度飛行状態時のヨー角度変化

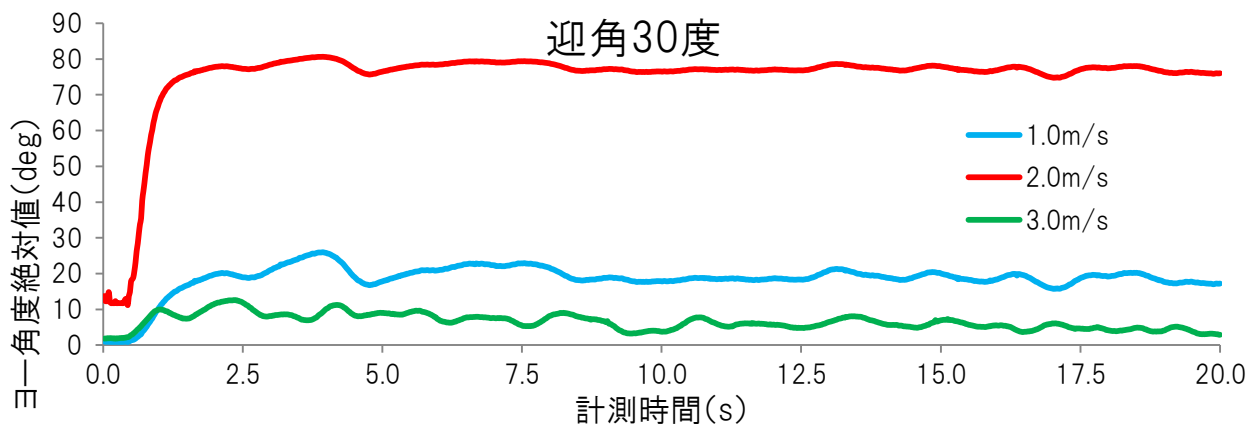


図 3.1.5.4 迎角 30 度飛行状態時のヨー角度変化

3つの結果グラフを比較すると、迎角 10 度、20 度では設定風速 1.0m/s 時では、約 2.5 秒の時点でレーザー変位計の計測範囲を超えヨー角度変化が直線的なもの、つまり計測できないほどヨー角度は速く大きく変化したことが分かる。なぜ、設定風速 1.0m/s のみヨー角度の変化が大きくなってしまったかについてはわからないが、風速の設定値があまり小さい時は羽ばたき飛行体は一定のヨー角度安定性も持っていないようである。また、迎角が大きくなり羽に受ける風の力が大きくなるとようやく設定風速 1.0m/s であってもレーザー変位計の計測範囲内でなおかつ一定の安定性を見ることができる。



### 3.2 迎角, 風速に対しての羽ばたき周波数の変化と羽ばたき周波数の制御

羽ばたき飛翔体は駆動電圧が同一であっても迎角, 風速の変化で羽ばたき周波数は変化する. ヨー角度の変化量を計測するにあたり, 迎角, 風速を変更しても同一の周波数を確保するため迎角, 風速に対する羽ばたき周波数を計測した. 結果を表 3.2.1 に示す.

表 3.2.1 任意の羽ばたき周波数に必要な電圧

迎角	風速 (m/s)	周波数 (Hz)	電圧(V)	迎角	風速 (m/s)	周波数 (Hz)	電圧 (V)	迎角	風速 (m/s)	周波数 (Hz)	電圧(V)
10 度	0.5	6	1.0	20 度	0.5	6	1.0	30 度	0.5	6	1.1
		8	1.5			8	1.6			8	1.6
		10	2.0			10	2.1			10	2.1
		12	2.6~2.7			12	2.7			12	2.7~2.8
		14	3.4			14	3.5			14	4.0
	1.0	6	1.0		1.0	6	1.1		1.0	6	1.1
		8	1.4~1.5			8	1.6			8	1.6
		10	2.0			10	2.1			10	2.2
		12	2.7			12	2.7			12	2.8
		14	3.1~3.3			14	3.6			14	4.0
	1.5	6	1.1		1.5	6	1.1		1.5	6	1.1
		8	1.5			8	1.6			8	1.7
		10	2.0			10	2.1			10	2.3
		12	2.6~2.7			12	2.7			12	3.5
		14	3.2			14	3.7			14	4.0
	2.0	6	1.0		2.0	6	1.2		2.0	6	1.3
		8	1.5			8	1.6			8	1.7
		10	1.9~2.0			10	2.1			10	2.3
		12	2.6			12	2.7			12	3.1
		14	3.3			14	3.6			14	4.0
2.5	6	1.1	2.5	6	1.2	2.5	6	1.3			
	8	1.5		8	1.6		8	1.8			
	10	1.9~2.1		10	2.1		10	2.6			
	12	2.5		12	2.7		12	3.2			
	14	3.3		14	3.7		14	4.0			
3.0	6	1.1	3.0	6	1.3	3.0	6	1.5			
	8	1.5		8	1.7		8	1.9			
	10	2.0		10	2.2		10	2.5			
	12	2.5		12	2.7		12	3.2			
	14	3.2		14	3.7		14	4.0			

上記の結果をもとに周波数を制御し, ヨー角度の変化を計測した. 計測条件は迎角 10 度 20 度 30 度, 風速 1.0~3.0m/s まで 0.5m/s ずつ設定した. それぞれの計測条件で計測をおこなった結果をグラフにして次項に示す.

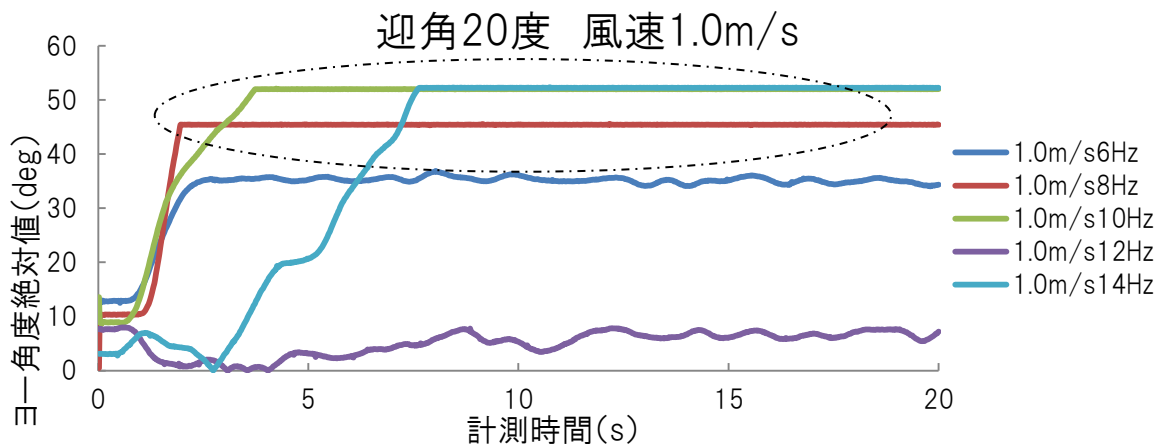


図 3.2.1 風速 1.0m/s 設定時の羽ばたき周波数制御時のヨー角度の変化

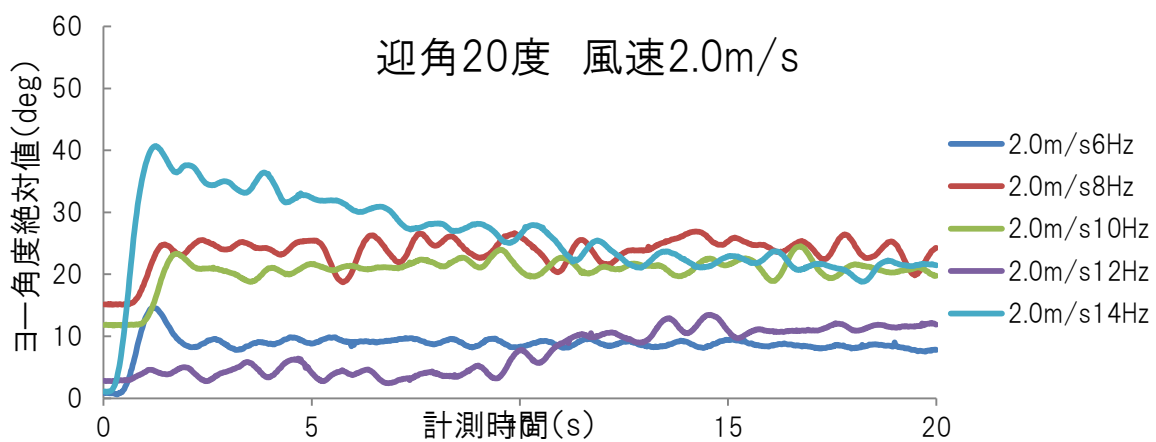


図 3.2.2 風速 2.0m/s 設定時の羽ばたき周波数制御時のヨー角度の変化

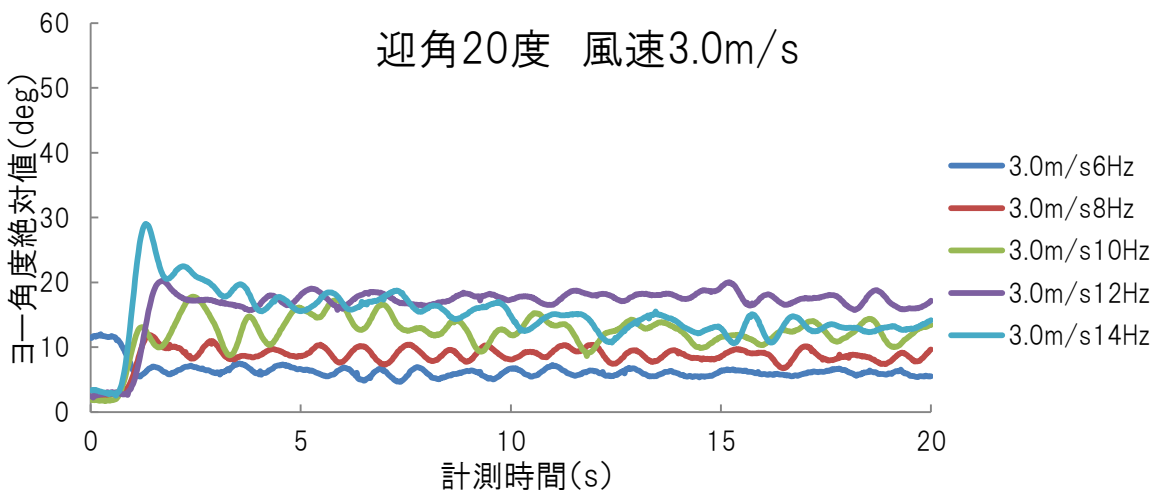


図 3.2.3 風速 3.0m/s 設定時の羽ばたき周波数制御時のヨー角度の変化

迎角 20 度風速設定 1.0m/s 時の計測結果は、飛行状態時のヨー角度の計測と同じようにレーザー変位計の計測範囲外にヨー角度変化が及んでいる、もしくはヨー角度変化が大きく速いため対応しきれなかったことがわかる。風速が増加すると一定の安定性を見せる角度が小さくなることもわかった。

### 3.3 “風見鶏”効果の計測

羽ばたき飛翔体のヨー角度の変化を何度か計測すると、特に迎角が大きく、風速が早い条件では羽ばたき飛翔体は風洞装置の方へ向きやすくなるという、風見鶏のような動作をすることが多くあることに気付いた。そこで、羽ばたき飛翔体にも“風見鶏効果”があるのかを検証した。

#### 3.3.1 風見鶏効果の計測

羽ばたき飛翔体の風見鶏効果を確認するには、初期状態では風洞装置に対して正面ではなく少し角度をつけた状態で設置し、風洞装置を作動させると羽ばたき飛翔体が正面を向く風見鶏効果があるか、また風見鶏効果があった場合、迎角と風速の設定を変更することにより風見鶏効の増加減少といった変化があるかを計測する必要がある。そこで後述のトリガ装置を製作した。

#### 3.3.2 ヨー角度の変化開始点と記録開始点の同期及び結果

前述のとおり風洞装置に対して少し角度をつけた状態で羽ばたき飛翔体を設置し、風見鶏効果を計測するにあたり図 3.3.2.1 のように 2 枚のアルミ板を組み合わせてトリガ装置を製作した。この器具は上段のアルミ板が、レーザー受光板を固定している下段のアルミ板をばねで跳ね上げることで、金属軸のヨー方向の回転運動の固定を解く仕組みになっている。下段のアルミ板はレーザー受光板の上面と接触しており、データロガーの電気接点の役割をしている。この電気接点はデータロガー内部でトリガの役割をする信号を発するためのもので、接点が絶たれた時点、つまりヨー角度の変化が始まった時点から約 2 秒さかのぼりデータを記録できるような設定になっている。

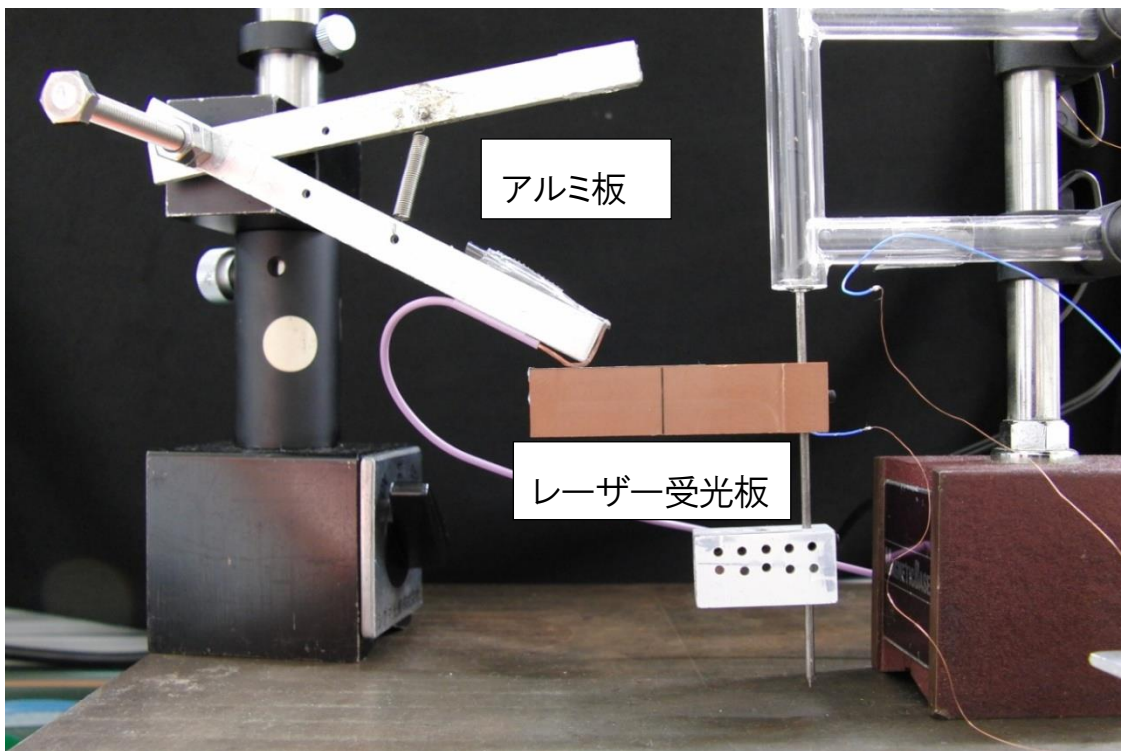


図 3.3.2.1 トリガ装置

製作したトリガ装置を使って風見鶏効果を計測した結果の一つとして図 3.3.2.2 を示す。この計測時の設定条件は迎角 30 度、風速 2.0m/s、駆動電圧は 2V、3V、4V である。図 3.3.2.2 で確認できるようにヨー角度変化の開始点から約 2 秒さかのぼって記録をおこなえるようにデータロガーの記録方法を設定している。

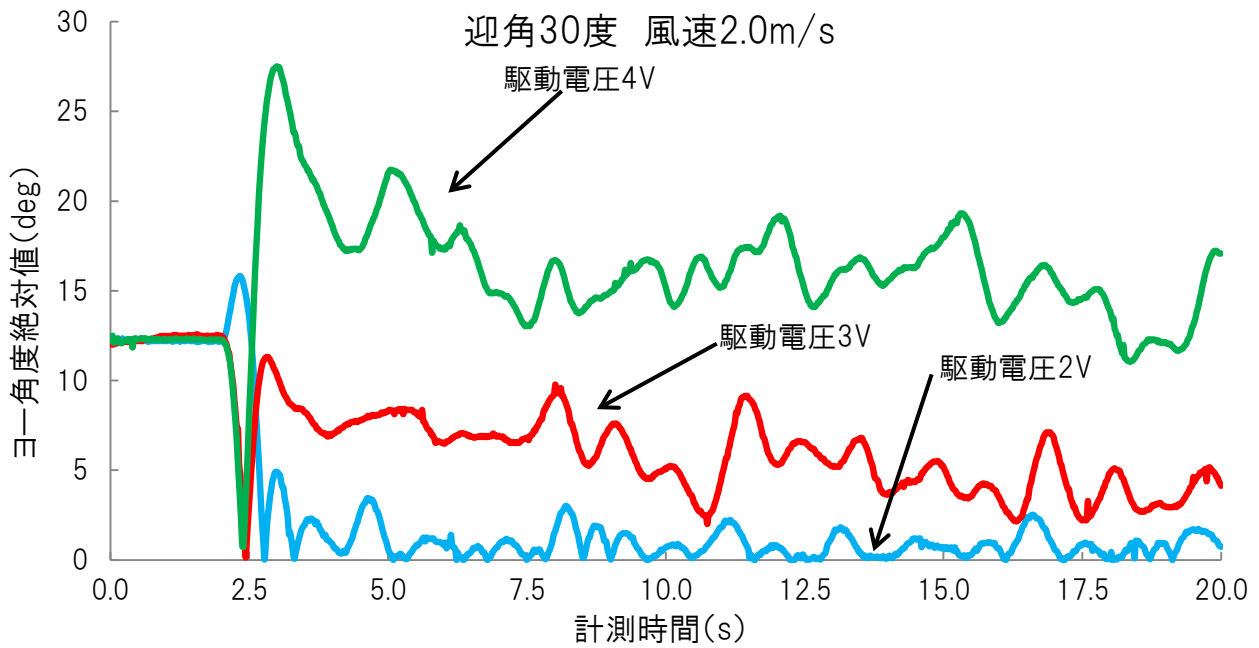


図 3.3.2.2 風見鶏効果の一例

結果の一例として図 3.3.2.2 を示す。図 3.3.2.2 のように、約 2 秒の時点でヨー角度の変化が始まり、その時点以前のデータも記録できているため、このトリガ装置とデータロガーは正しく接続できていて、データロガーの設定も正しいことがわかる。そこで飛行状態での風見鶏効果を計測した。計測条件は迎角 10 度 20 度 30 度、風速 1.0~3.0m/s まで 0.5m/s ずつ設定し計測をおこなった。結果を示す。

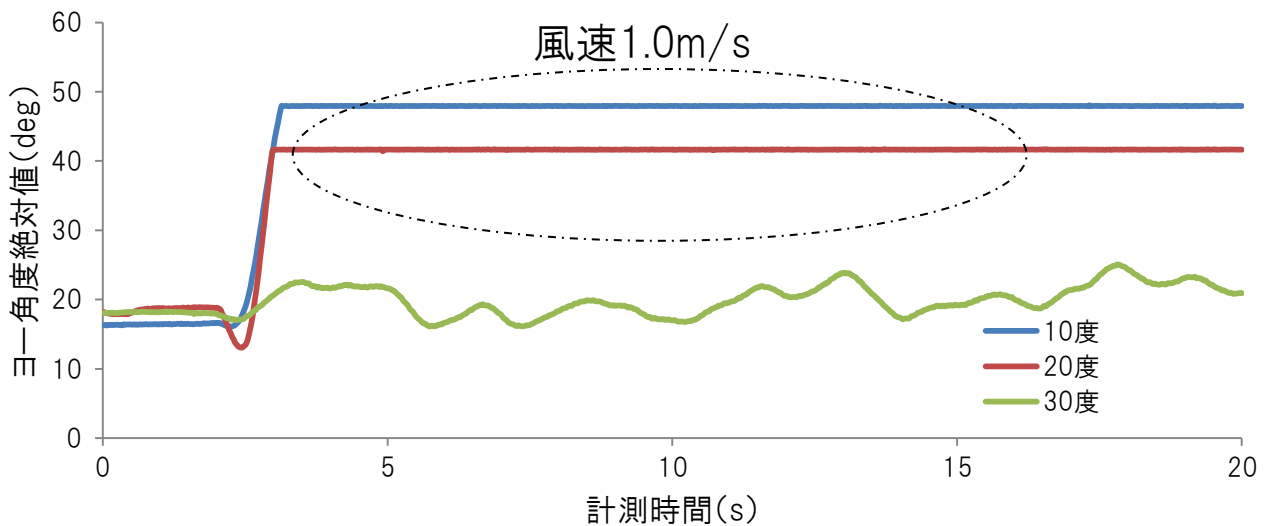


図 3.3.2.3 飛行状態風速 1.0m/s 時の各迎角の風見鶏効果

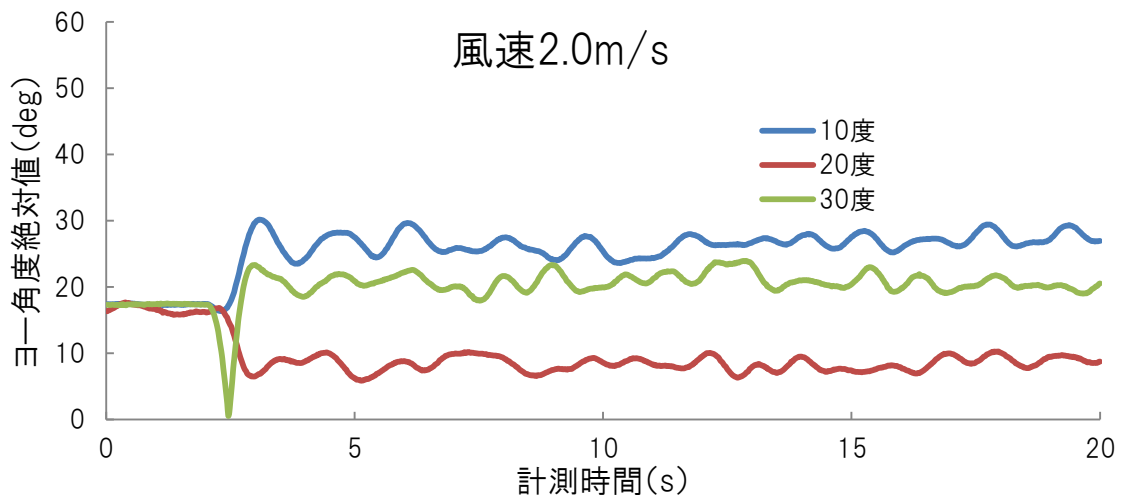


図 3.3.2.3 飛行状態風速 2.0m/s 時の各迎角の風見鶏効果

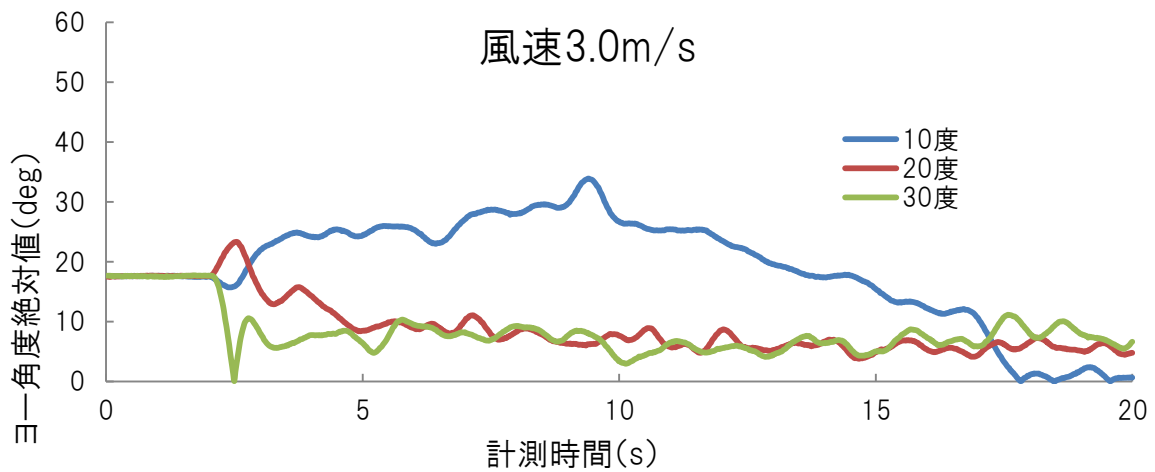


図 3.3.2.4 飛行状態風速 3.0m/s 時の各迎角の風見鶏効果

今回の飛行状態設定の計測も風速 1.0m/s の場合、楕円形で囲んだ直線的でヨー角度の変化がない個所はレーザー変位計の計測範囲外もしくは、ヨー角度の変化が大きく速かったことがわかる。風速 2.0m/s, 3.0m/s と比較すると羽ばたき飛翔体はまったく風見鶏効果を示しておらず、また安定性も持っていないことが分かる。迎角 30 度での計測の場合、風速 1.0~3.0m/s では前述のようなレーザー変位計についての問題もなく、ヨー角度変化の度合いも小さかった。

次項では各迎角での計測結果をまとめたものを示す。

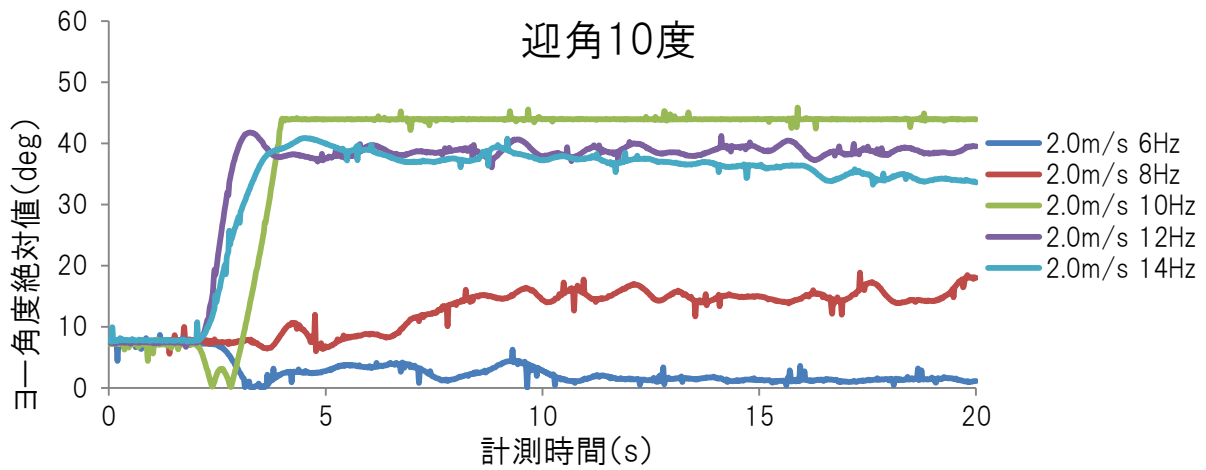


図 3.3.2.5 迎角 10 度，羽ばたき周波数制御の風見鶏効果

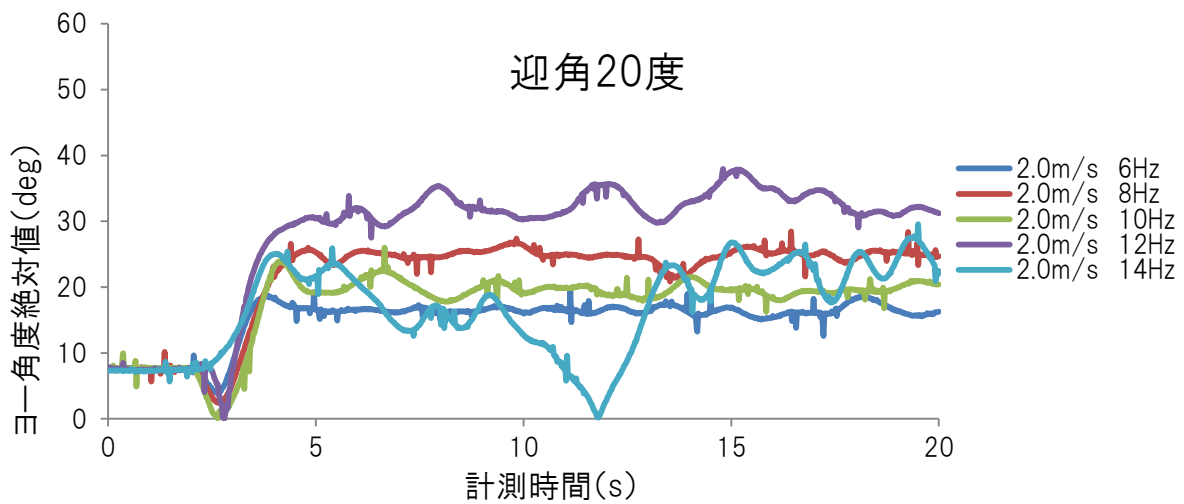


図 3.3.2.6 迎角 20 度，羽ばたき周波数制御の風見鶏効果

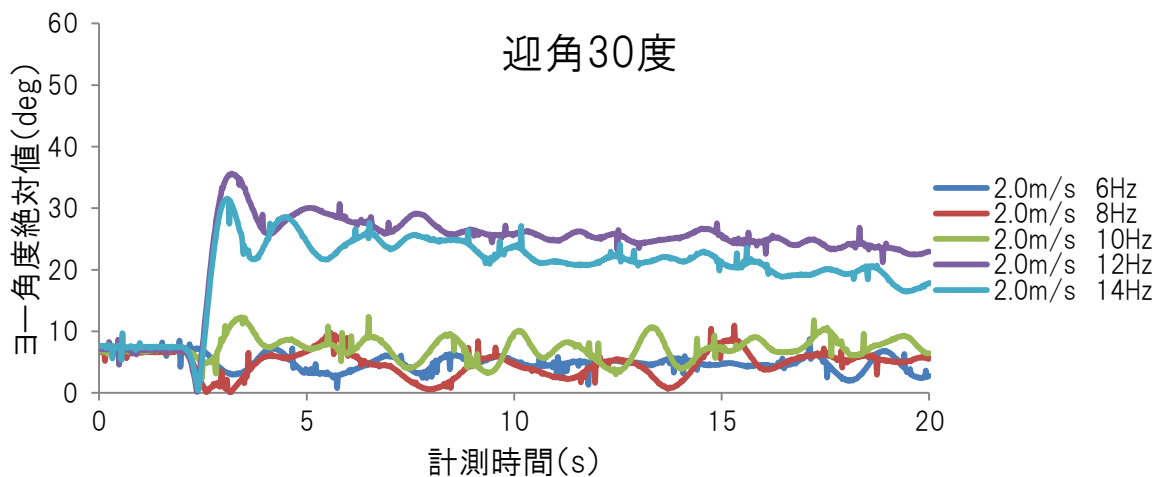


図 3.3.2.7 迎角 30 度，羽ばたき周波数制御の風見鶏効果

迎角 10 度より 20 度，20 度より 30 度という具合にヨー角度の変化が少なくなっている。これは，羽ばたき飛翔体が持つ風見鶏効果によって，羽ばたき飛翔体のヨー角度の不規則な変化が起りにくくなっているためだと思われる。また，羽ばたき周波数は何らかの角度への影響があると考えていたが，今回の結果からは明確な結論には至らなかった。

## 第4章 結言

本研究は、羽ばたき飛翔体のヨー角度の時間変化及び安定性、風見鶏効果の有無についての研究をおこなってきた。ヨー角度の時間変化安定性に関しての研究では明確な結果を得ることはできなかったが、風見鶏効果に関しては羽ばたき飛翔体にも風見鶏効果があると考えられる。また、風速を増加させるとヨー角度の変化量が小さくなるという傾向が判明したため、今後は風速の設定値をより大きくした状態で計測する必要がある。

### 参考文献

- (1) 平成23年度 卒業論文 「2枚翼小型羽ばたき飛翔体の製作と風洞内制御装置の高度化」  
福岡工業大学 工学部 知能機械工学科 08E1024 郷原 裕己  
指導教員 河村良行 指導院生 山本清貴

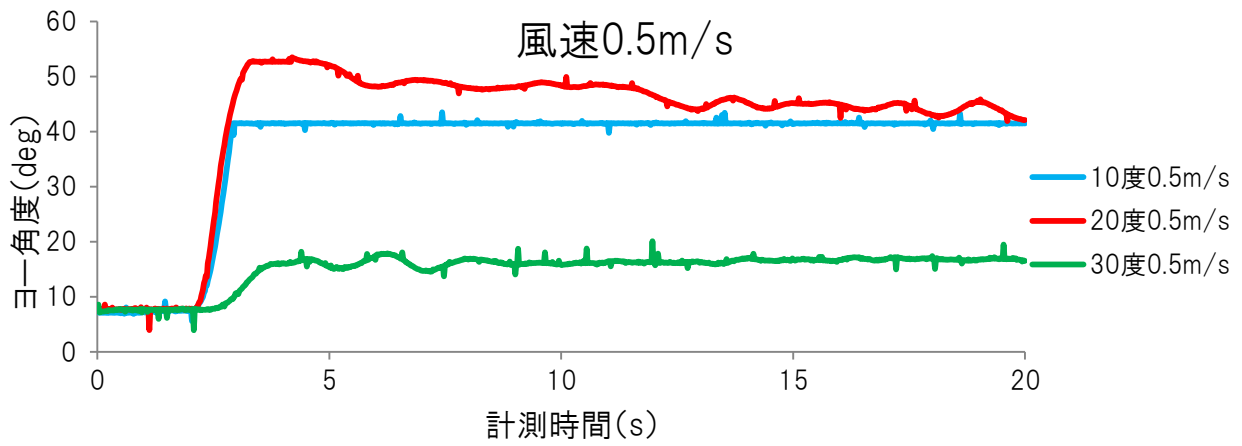


図. 風速 0.5m/s 時の風見鶏効果…

