

カルマン渦型風向風速計の開発

福田, 芳久 / FUKUDA, Yoshihisa

(発行年 / Year)

2011-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2011-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

修士論文

カルマン渦型風向風速計の開発

2010 年度

法政大学大学院工学研究科システム工学専攻

09R6121

フクダ ヨシヒサ
福田 芳久

指導教授 渡辺 嘉二郎 教授

Abstract

The development of this anemometer is to develop the anemometer whose durability is more excellent than a past thing. There was a moving part in a past aerovane, and was an accident in strength. A Kalman vortex aerovane measures the velocity of the wind by the wind's driving against the stick vertically put up, and detecting the pressure difference generated by Karman vortex. Because the moving part doesn't exist at all, the high durability can be expected. It is thought that the effect is demonstrated in the region in the agricultural sector etc. that become severe environments easily.

Key Words : *Karman vortex, Aerovane, Vane anemometer, Microphone*

目次

1.	はじめに.....	3
2.	カルマン渦.....	4
3.	装置.....	5
	(1) 装置構造.....	5
	(2) 測定原理.....	6
4.	シミュレーション実験.....	7
	(1) シミュレーション準備.....	7
	(2) 測定棒までの距離 R の決定.....	11
	a) 実験方法.....	11
	b) 実験結果.....	13
	(3) 風速と風向の推定方法.....	14
	a) 実験方法.....	14
	b) 実験結果.....	14
	(4) 風速の推定方法.....	16
	a) 実験方法.....	16
	b) 実験結果.....	16
5.	実機実験 1.....	18
	(1) 実験環境.....	20
	(2) 校正.....	21
	a) 実験方法.....	21
	b) 実験結果.....	21
	(3) 実測.....	22
	a) 実験方法.....	22
	b) 実験結果.....	22
	(4) 考察.....	23
	a) 速度.....	23
	b) 風向.....	23
6.	実機実験 2.....	24
	(1) 実験方法.....	25
	(2) 実験結果.....	26
7.	おわりに.....	33
	参考文献.....	34
	謝辞.....	35

1. はじめに

作物と気象は密接な関わりがあり^[1], 農作業をする際に気象状況を把握することができれば, より効率的に農作物を生産することができる. 近年では, 小型で個人でも気象情報を把握できる **Weather Station** と呼ばれる装置も存在しており, 風速や風向のみならず, 気温, 湿度, 雨量等の気象を手軽に計測することができる.

しかし, これらの機器は風速と風向の測定に可動部を有しており, 農作業等の過酷な環境で手荒に使用できるとは言い難い. また, 一度固定すると容易に取り外せないものとなっているため, 耕作地の中央等に設置してしまうと田畑を耕す際の障壁となってしまう.

そこで, 農作業等の過酷な環境で手荒に使用しても耐えうる耐久性に加えて, 固定式でない優れた風向風速計の開発を行う. 特に, 耐久性の飛躍的に向上をさせるため, 可動部を廃止し, 無可動とすることにより, これを実現する.

2. カルマン渦

カルマン渦とは、一様な流れの中に物体が存在した際に発生する流体振動の一つであり、その流れの一例を Fig. 1 に示す。カルマン渦の渦発生周波数は、時間変化による慣性力と場所移動による慣性力の無次元数のストローハル数 St 、周波数 f [Hz]、流体速度 v [m/s]、代表長さ L [m] とすると(1)式で表される。

$$f = St \frac{v}{L} \quad (1)$$

(1)式より、

$$v = St \frac{f}{L} \quad (2)$$

(2)式より、流体速度は、ストローハル数 St が一定である場合、カルマン渦の発生周波数と線形に比例する。

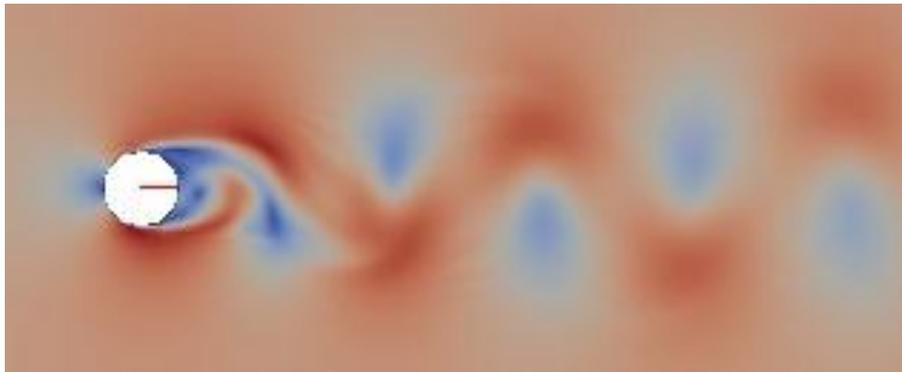


Fig. 1 Karman vortex

3. 装置

(1) 装置構造

装置構造を Fig. 2 に示す。カルマン渦を発生させるためにカルマン渦発生用丸棒（直径 3 [cm]）を中央に設置する。カルマン渦発生用から同心円状にカルマン渦を測定するための測定用丸棒（直径 6 [mm]）を設置する。全方位からの風を計測するため、等間隔に測定用丸棒を N 本配置する。測定用丸棒には、センサーを載せて計測を行う。

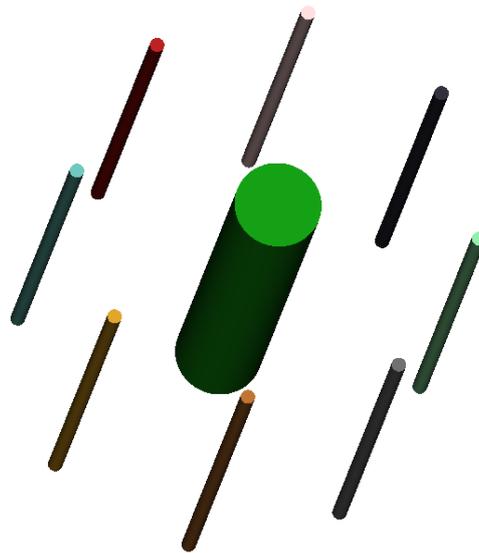


Fig. 2 Diagrammatic perspective view of the device

(2) 測定原理

レイノルズ数 10^2 から 10^5 の範囲で円柱のストローハル数は、ほぼ 0.2 で一定となる^[2]。風が吹くと Fig. 2 中央のカルマン渦発生用の丸棒よりカルマン渦が発生する。カルマン渦は風速により Table 1 に書いてある周波数となる。速度により測定用棒にあたる圧力が変化することから、圧力変化をセンサーにより捉えることで、風速を測定する。

また、風向は、各センサー位置の圧力の違いによって算出する。

Table 1 Relationship between wind speed and frequency (cylinder $\phi 3$ [cm])

wind speed [m/s]	frequency of Karman vortex [Hz]	wind speed [m/s]	frequency of Karman vortex [Hz]
0.1	0.7	1.5	10.5
0.2	1.4	2.0	14.0
0.3	2.1	3.0	21.0
0.4	2.8	4.0	28.0
0.5	3.5	5.0	35.0
0.6	4.2	6.0	42.0
0.7	4.9	7.0	49.0
0.8	5.6	8.0	56.0
0.9	6.3	9.0	63.0
1.0	7.0	10.0	70.0

4. シミュレーション実験

(1) シミュレーション準備

OpenCFD 社が開発した OpenFoam を用いてシミュレーション実験を行う。OpenFoam1.7が入っている Linux ディストリビューションの DEXCS 2010 for OpenFOAM 1.7x を使用した。ソルバは icoFoam を使用した。気象庁の過去の東京都府中の観測データより，過去 33 年間の平均風速が 1.5 [m/s] であったため，シミュレーション時の風速は 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 [m/s] とした。センサー位置までの距離 R とセンサー位置番号 1~ N ，センサー位置間隔角度 θ ，センサー位置と風向の角度 ϕ を Fig. 3 に示す。

また，センサー位置である測定棒の本数 N は，センサー間隔がレイノルズ数において支配的にならない為に，カルマン渦列の幅から各測定棒の間隔が直径より大きく，直径の 2 倍より小さくなるように設定した。

2 秒間のデータを用いて Table 1 より 3hz が一周期以上取れる 0.5 秒ごとに Fig. 4 のように 4 分割する。4 分割されたデータごとに Fig. 4 のように気圧の最大値と最小値の圧力差を求める。求められた 4 つの圧力差から，定常的なものを求めるため，中央値を圧力差とする。

$\phi=0$ の時と $\phi=\theta/2$ の時のシミュレーションの一例を Fig. 5 に示す。

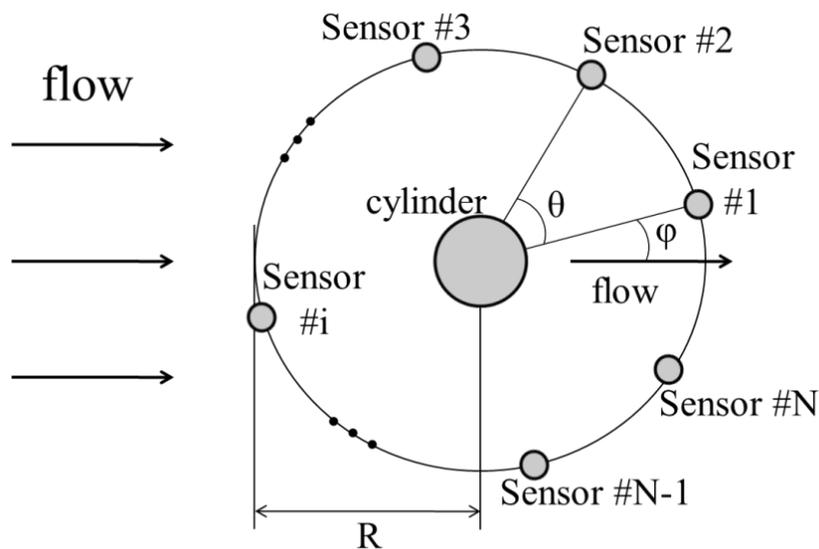


Fig. 3 Overhead view of the device

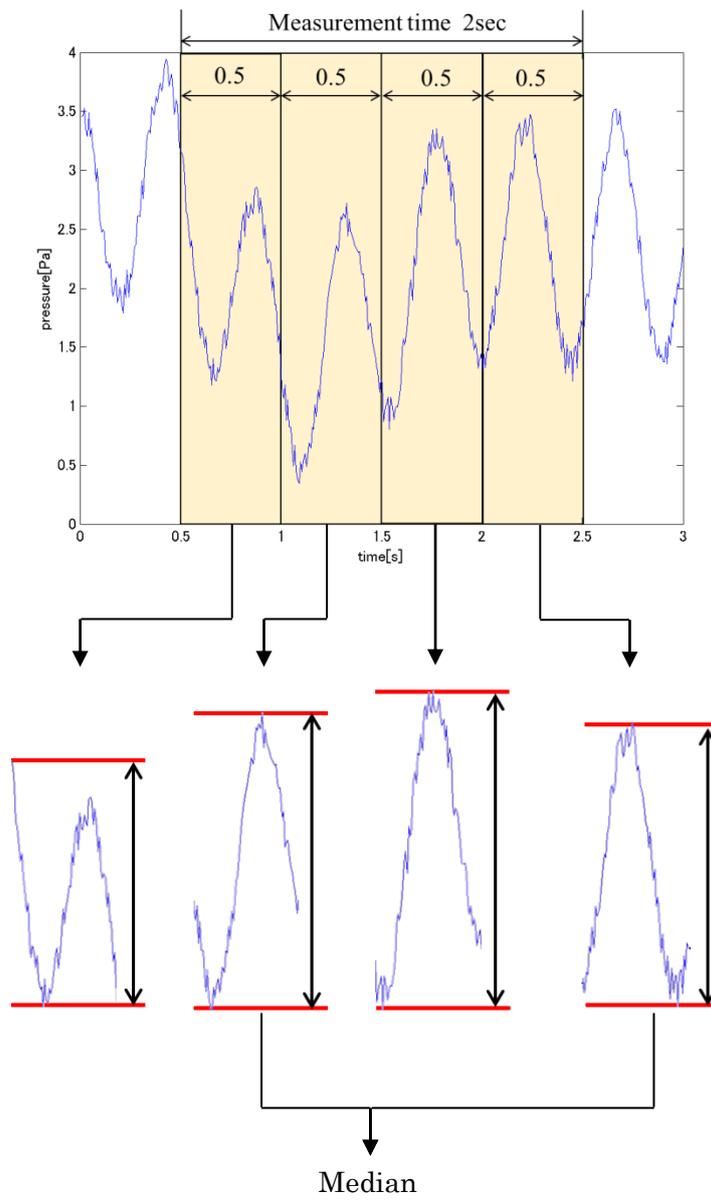


Fig. 4 Algorithm for selecting data

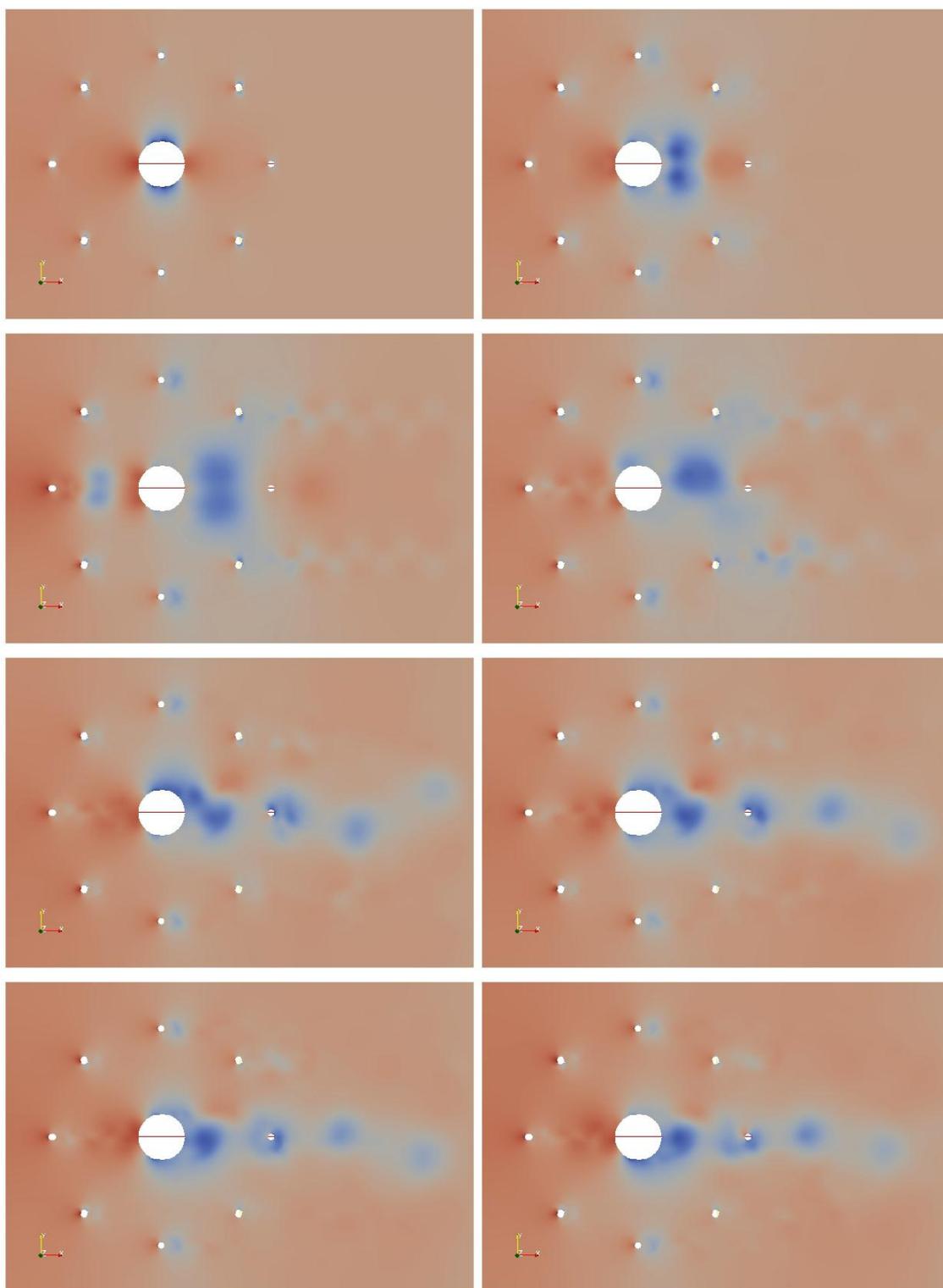


Fig. 5 (a) Contour plot for pressure on the simulation ($\phi=0$)

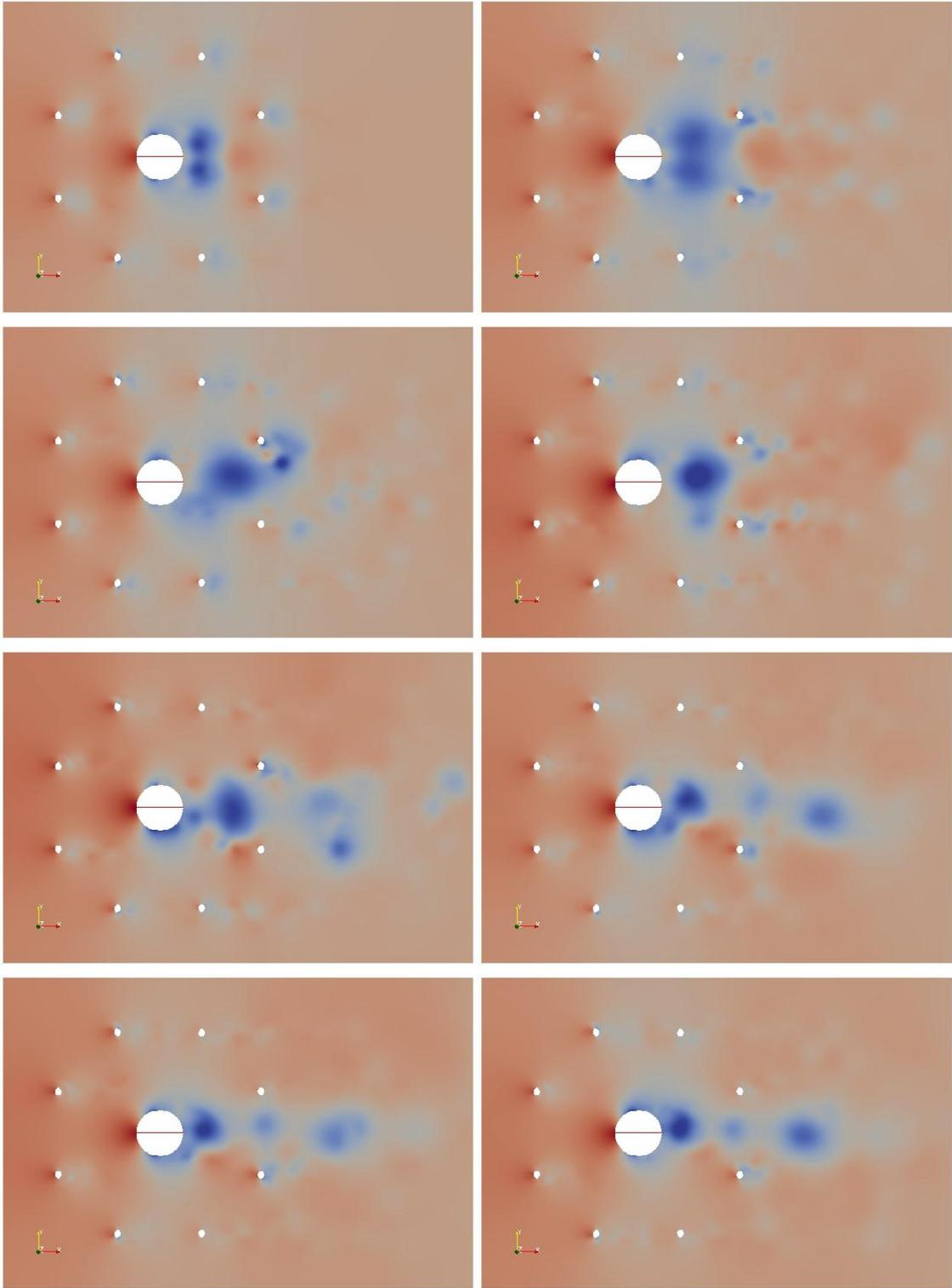


Fig. 5 (b) Contour plot for pressure on the simulation ($\phi = \theta/2$)

(2) 測定棒までの距離 R の決定

a) 実験方法

直列に 2 つの同じ円柱を配置した場合、円柱の直径の 2 倍未満では上流側の円柱まわりの流れにも強く影響を与える^[3]。よって、本装置の構造から、カルマン渦発生用の丸棒の直径の 2 倍以上離すことで測定棒によるカルマン渦への影響を小さくする。

測定棒までの距離 R を、6 [cm] から 1 [cm] 刻みで 10 [cm] までシミュレーションを行う。シミュレーション例を Fig. 6 に示す。風向による変化がもっとも変わる“風下にちょうど測定棒がある ϕ が 0”と“最も ϕ が大きくなる $\theta/2$ ”の 2 つのパターンにおいてシミュレーションを行い、カルマン渦の影響がもっと出る距離を求める。

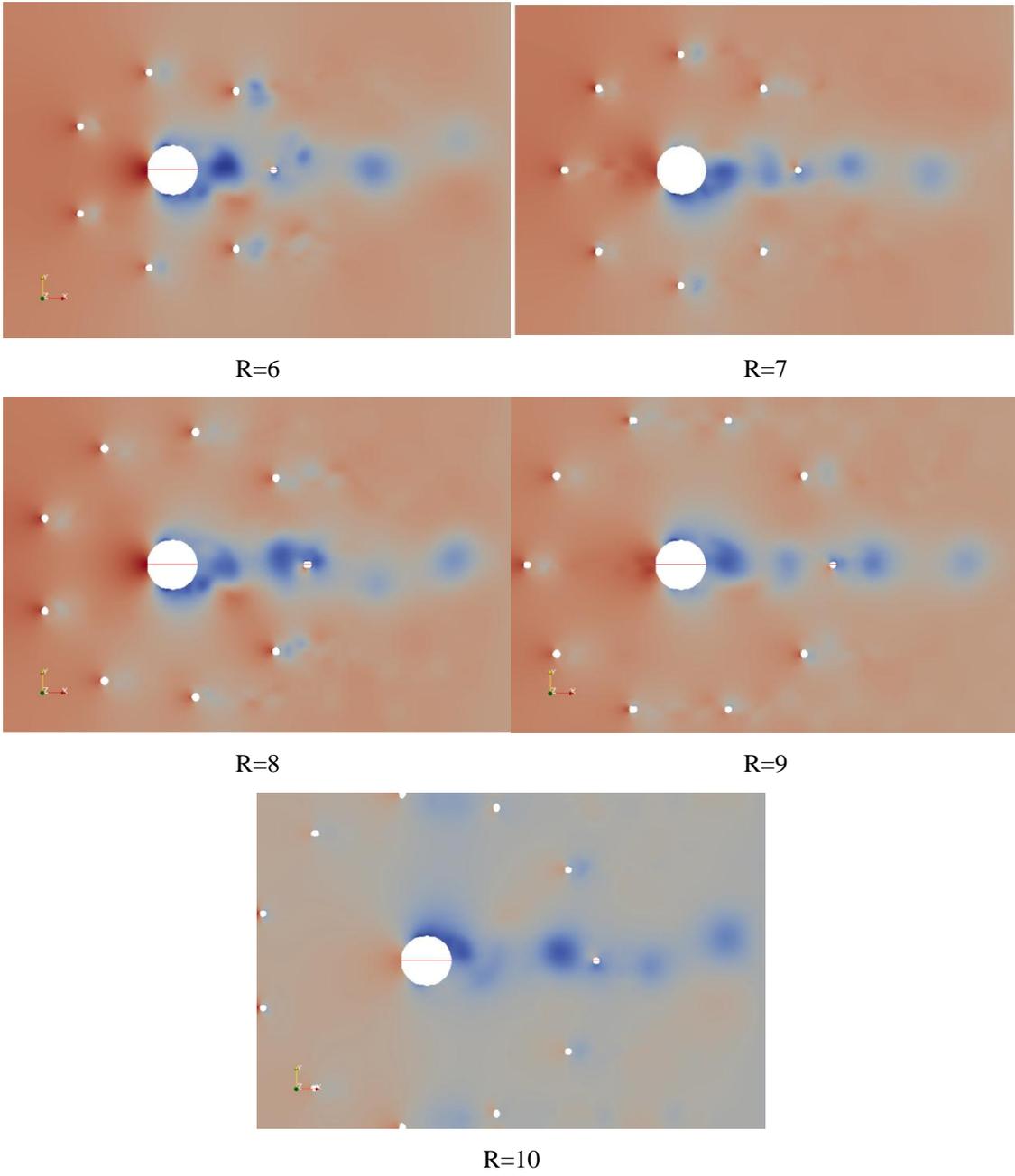


Fig. 6 Each R on the simulation

b) 実験結果

結果を Table 2 と Table 3 に示す.

Table 2 より, 測定棒までの距離 R が 7 [cm] の時, 最も線形に風速と圧力が変化している.

Table 3 より, 測定棒までの距離 R が 7.0, 8.0, 10.0 [cm] の時, センサー 1 番と N 番の周波数がほぼ一致している. 1 番と N 番は, 理論上一致するため, R = 7.0, 8.0, 10.0 [cm] が望ましい.

以上より, 測定棒までの距離 R が 7 [cm] の時において最も計測しやすいと判断できる為, 7 [cm] を採用した. それにより, センサー数は 8 個となる.

Table 2 Frequency in sensor #1 and #N ($\phi=0$)

Sensor #1		v[m/s]				
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
R [c m]	6.0	0.166	0.332	0.333	5.657	7.155
	7.0	0.166	1.827	3.827	5.648	7.488
	8.0	0.166	1.827	1.664	1.997	15.141
	9.0	0.166	1.827	0.832	2.163	2.721
	10.0	0.166	1.827	0.666	5.824	7.987
Sensor #N		v[m/s]				
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
R [c m]	6.0	0.166	0.498	1.830	0.166	3.494
	7.0	0.166	0.831	1.997	0.166	0.333
	8.0	0.166	0.831	1.830	2.995	3.661
	9.0	0.166	0.831	1.830	2.829	2.041
	10.0	0.166	0.997	0.333	2.995	3.993

Table 3 Frequency in sensor #1 and #N ($\phi = \theta/2$)

Sensor #1		v[m/s]				
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
R [c m]	6.0	0.166	0.997	0.166	2.829	3.661
	7.0	0.166	0.831	1.830	2.990	3.827
	8.0	1.327	0.997	1.997	2.995	3.993
	9.0	0.332	0.831	1.830	2.995	3.827
	10.0	0.166	0.831	1.830	2.829	3.827
Sensor #N		v[m/s]				
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
R [c m]	6.0	0.166	1.163	0.166	2.829	3.661
	7.0	0.498	0.831	1.830	2.829	3.827
	8.0	1.327	0.997	1.997	2.995	3.993
	9.0	0.166	0.831	0.499	2.995	3.827
	10.0	0.166	0.831	1.664	2.829	3.827

(3) 風速と風向の推定方法

a) 実験方法

シミュレーション実験 (1) で得られた距離 R を用いて, 各センサーでの圧力から風速と風向の関係を求める. 風向を求めるため, 距離 R が 7 [cm], 流速 v が 2.0 [m/s], 風向の角度 ϕ はセンサー1番を風下とした 0 からセンサー1 と 8 番の中間の $\theta/2$ までの 11 分割したときの圧力の最大値と最小値の圧力差をシミュレートする.

b) 実験結果

距離 R が 7 [cm], 流速 v が 2.0 [m/s], センサー毎の気圧の最大値と最小値の圧力差を Fig. 7 (a) に示す. また, 風向の角度 ϕ を 0 から $\theta/2$ [rad] (22.5°) までの 11 分割毎の角度を軸として追加したグラフを Fig. 7 (b) に示す. Fig. 7(a) より風下であるセンサー1番と風下に近いセンサー8番の圧力差が大きくなっており, 逆に風上である4番や風上に近い5番は圧力差が小さくなっている. Fig. 7 (b)より $\phi=0$ [rad] (0°) から $\phi=\theta/2$ [rad] (22.5°) へ風向きが移るに従って, 圧力差がセンサー1番では小さく, センサー8番が逆に大きくなっていく. このため, 圧力差が最も大きくなるセンサー位置が風下である.

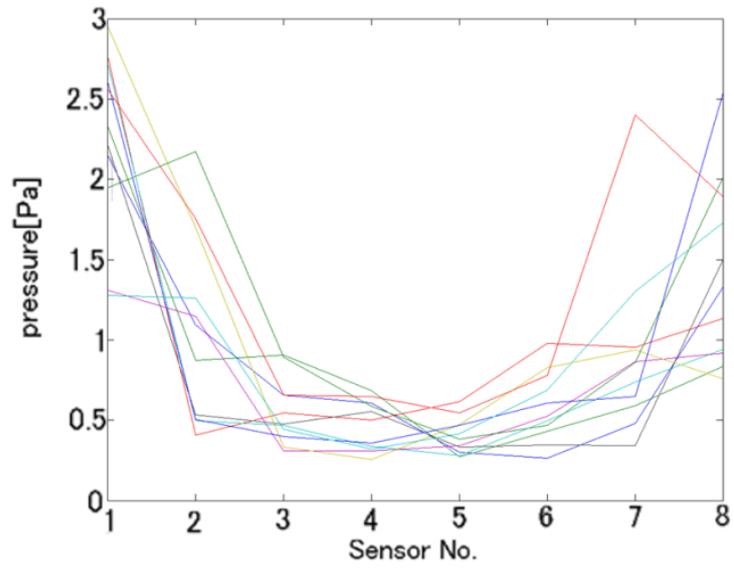


Fig. 7 (a) Pressure and Sensor number

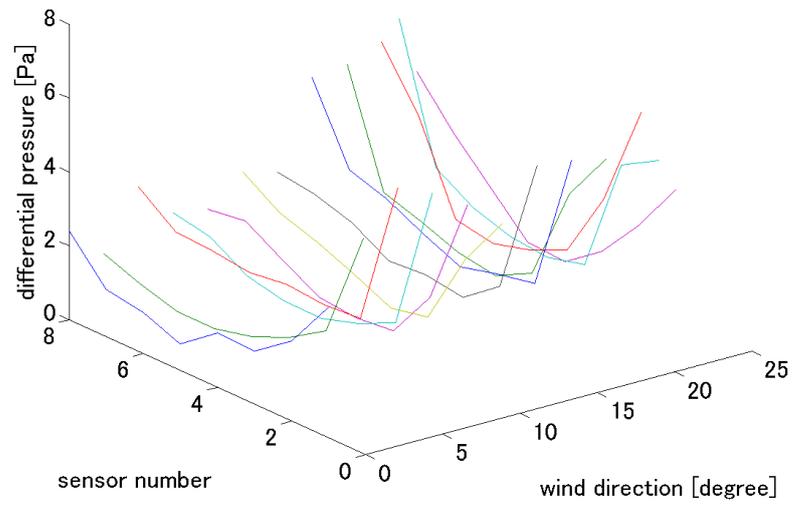


Fig. 7 (b) Pressure, Sensor number and wind direction

(4) 風速の推定方法

a) 実験方法

風下のセンサー位置における周波数と先の圧力の最大値と最小値の圧力差を風下にセンサー位置が来る $\phi=0$ とセンサー位置とセンサー位置の中間に風向きが来る $\phi=\theta/2$ のそれぞれにおいて風速は 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 [m/s] を設定しシミュレートする。

b) 実験結果

Table 4 に結果を示す。Table 3 より、 $\phi=0$ と $\phi=\theta/2$ の値が周波数においては、大きく異なっており、4 [m/s] の時には倍近い差が生じている。圧力差では、大きな差が出ておらず、風速が算出できる。Fig. 8 のようにプロットが弧を描いているため、二次曲線による近似を行ったところ、風速 v と圧力差 p は (3) 式のようなになる。

$$v = 0.777p^2 - 0.1145p \quad (3)$$

よって、圧力差から風速を算出する。

Table 4 differential pressure and frequency

v[m/s]	frequency[Hz]		differential pressure[Pa]	
	$\phi = 0$	$\phi = \theta / 2$	$\phi = 0$	$\phi = \theta / 2$
0.5	0.498	0.498	0.012	0.041
1.0	0.990	0.990	0.782	0.851
1.5	2.475	1.485	2.116	1.709
2.0	3.980	1.990	2.648	3.384
2.5	4.951	2.488	4.398	4.050
3.0	5.473	2.985	10.187	6.539
3.5	6.965	3.483	11.812	8.756
4.0	7.463	3.980	12.948	12.362

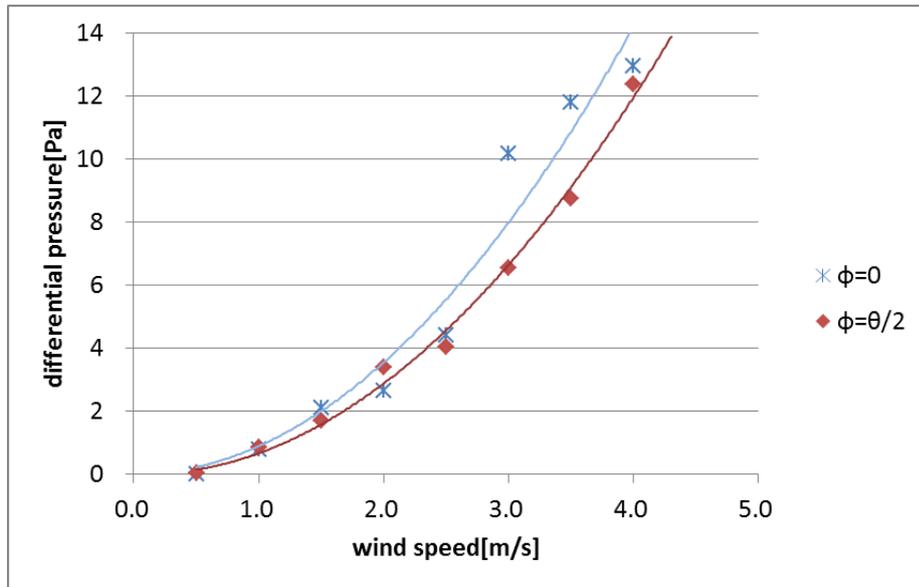


Fig. 8 Pressure and wind speed

5. 実機実験 1

シミュレーション実験で得られたセンサーまでの距離 R を用いて、実機を製作する。製作した実機を Fig. 9 に示す。4. シミュレーション実験では圧力 p は絶対気圧となっていたが、絶対気圧センサーは微小変化が計測し難く個々の絶対気圧センサーの校正が必要であるため、コストが著しく増加することが懸念される。そこで安価なセンサーであるマイクロホンを使用する。Table 1 より、風速 0.3 [m/s] の風は、周波数 2.1 [Hz] のカルマン渦を発生させるので低周波に強い primo 社製の超低周波マイクロホン (MX-E4758) を使用した。その特性を Fig. 10 に示す。この低周波マイクロホンは、他のマイクロホンと比較し低周波数領域における感度が高く生体信号やドアの開閉による室内の微少な圧力変動の計測に特に適している^[4]。絶対気圧ではなく電圧で測定されるために、先ほどのシミュレーション結果とは異なる。そのため、校正を行い、風向風速を算出できるように式を求める。その後、風向と風速を変えて風向風速計として測定を行う。



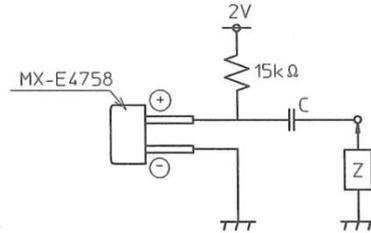
Fig. 9 Real machine

測定回路

Input SPL ; 94dBspl P型 M_r
 V_{DD}=2V, R_L=15kΩ

・音場
 0.5Hz~100Hz…密閉音場(100Hz基準)
 100Hz~…自由音場(1000Hz基準)

MX-E4758測定回路



1/(2πCZ)の値は1よりも十分に小さいこと

周波数特性

周波数特性
 <<低周波>>

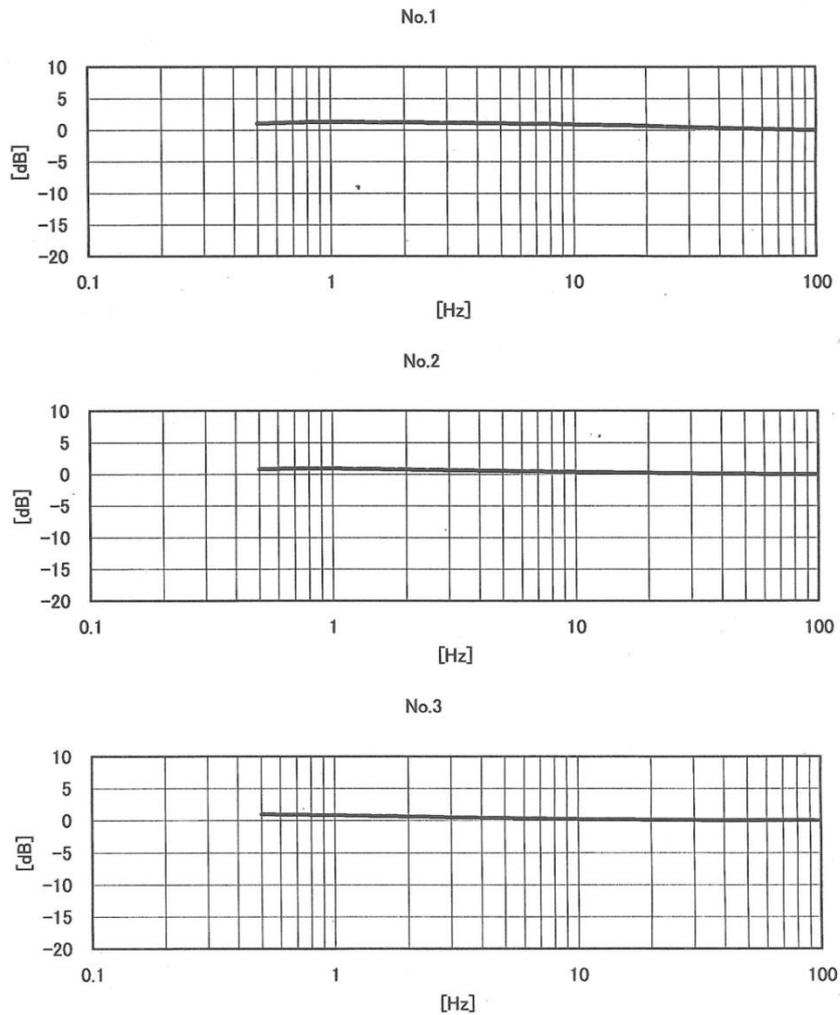


Fig. 10 detail of microphone

(1) 実験環境

送風機を設置し, 製作した実機に風を当てる. 実験環境をシンボル化したものを Fig. 11 に示す. Mastech 社製の風速計 MS6250 を用いて風速を測定し, その風速におけるデータを Keyence 社製のデータロガー NR-2000 を用いてロギングを行った.

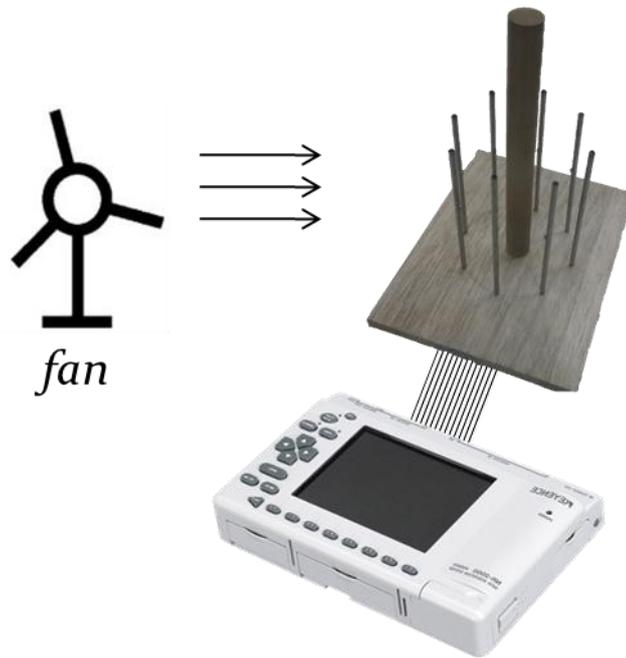


Fig. 11 experiment environment

(2) 校正

a) 実験方法

送風機から風を発生させ、Mastech社の風速計MS6250を用いて風速が1.1, 1.9, 2.7 [m/s]におけるマイクロホンの最大と最小の電圧差を複数回測定し、二次近似を行い、風速 v を算出するための式を求める。

b) 実験結果

1.1 [m/s] の時の平均電圧差 V_{pp} は 24.94 [mV] となり、1.9 [m/s] の時の平均電圧差 V_{pp} は 33.20 [mV] となり、2.7 [m/s] の時の平均電圧差は、115.28 [mV] となった。これらより、風速 v を算出するための式として(4)式を求めた。

$$v = 18.841V_{pp}^2 - 10.19V_{pp} \quad (4)$$

(3) 実測

a) 実験方法

(1) 校正と同じく送風機により，風を当て計測を行う．1.5, 2.0, 2.4, 3.0, 3.2 [m/s] と風速を設定し，風向を風下がセンサー位置 3 からセンサー位置 5 と 6 の間までの 90° 分を 6 等分して一か所に対して 6 回以上計測を行う．実際に風向風速が計測することができるか複数回測定を行う．リファレンスとして，Mastech 社の風速計 MS6250 を用いて風速を測定した．

b) 実験結果

実験結果を Fig. 12 に示す．風速（誤差 10%以内）で計測できた確率は 73.8%となった．また，1.1 [m/s] を除外した場合，86.5%まで精度が上昇した．風向に関しては，風下と判定できる確率は 44.2%となった．風上と風下を無関係として判断した場合（風の流れは特定できるが風の向きまでは特定できない場合）は，71.9%となった．

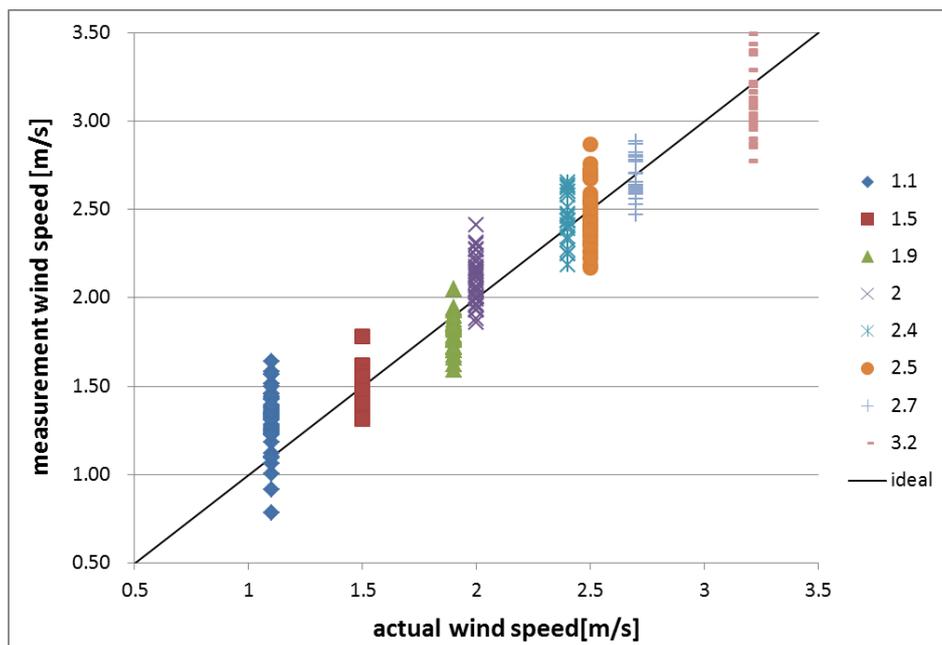


Fig. 12 actual and measurement wind speed

考察

c) 速度

1.1 [m/s] を除外した場合，86.5%まで精度が上昇した事から，低速度では風速によるエネルギーが小さくなり，風速を測定時に必要な気圧差が小さくなってしまい，判定が困難になってしまったと考えられる。

d) 風向

Fig. 13 に風速 1.5 [m/s] ，風向はセンサー位置 5 が風下となる風を計測したときのセンサーの電圧差を示す。シミュレーションでは，センサーの値が風下で最大となり，風上で最小となっていたが，実機を用いた実験では，風上と風下が高い値となっている。風上のセンサーは実機中央のカルマン渦発生用丸棒に向いて設置してあるため，風上のセンサーを設置している丸棒によって発生したカルマン渦の影響を受けて巻き込む流れが発生した可能性がある。

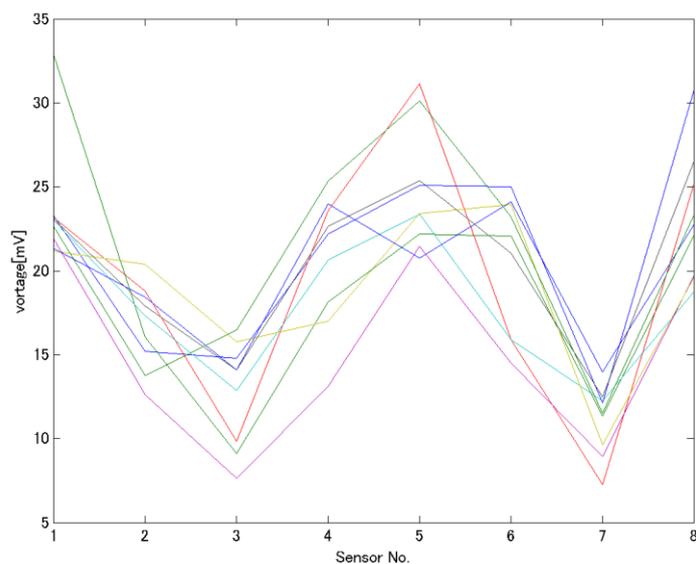


Fig. 13 For example measurement data

6. 実機実験 2

共振対策を目的として天板を取り付けた実機を Fig. 14 に示す. 2.0[m/s]以上の風速と実機
の特性を測るため, 様々な風速を用いてデータを取得する.



Fig. 14 Real machine 2

(1) 実験方法

Fig. 15 に示すように実験機器を設置して, 大型の扇風機を用いて風速 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0[m/s], 風向を風下がセンサー位置 3 からセンサー位置 5 と 6 の間までの 90° 分を 6 等分して一か所に対して 9 回以上の計測を行う.

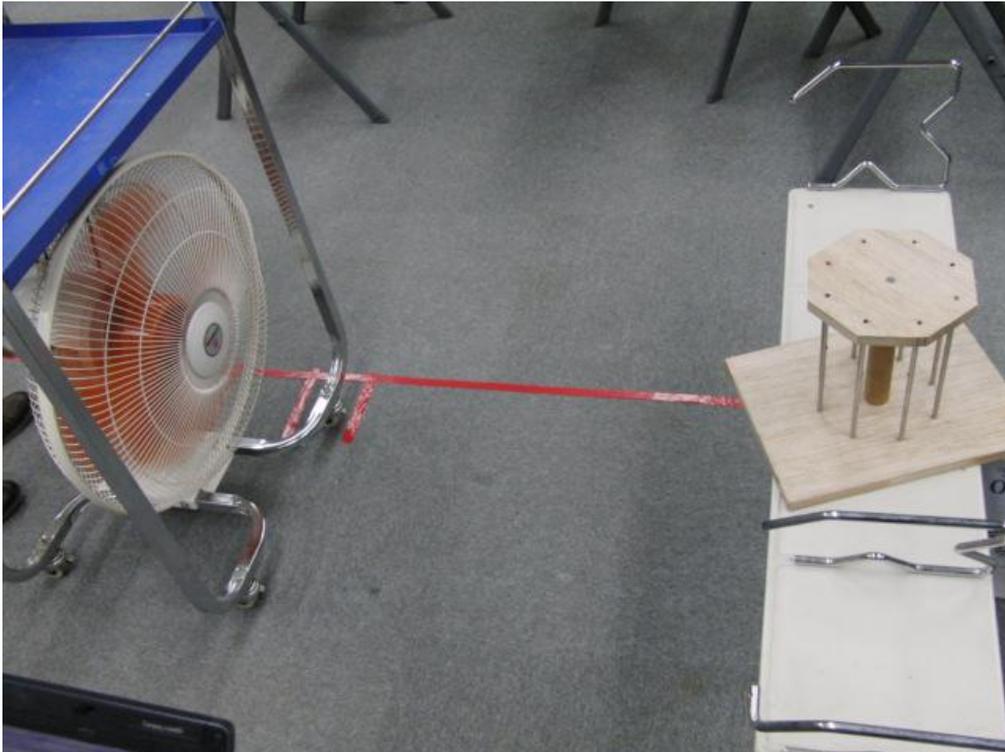


Fig. 15 experiment environment

(2) 実験結果

実験結果を Fig. 16 に示す。風速（誤差 10%以内）で計測できた確率は 46.5% となった。風向に関しては、風下と判定できる確率は 36.9% となった。風上と風下を無関係として判断した場合（風の流れは特定できるが風の向きまでは特定できない場合）は、66.9% となった。Fig. 16 よりばらつきが、激しいことが確認できる。

各センサーの V_{pp} の値を図示したものを Fig. 17 に示す。米印は同一時刻内（グラフ中の同じ線の色）で最も高い V_{pp} の位置を示している。

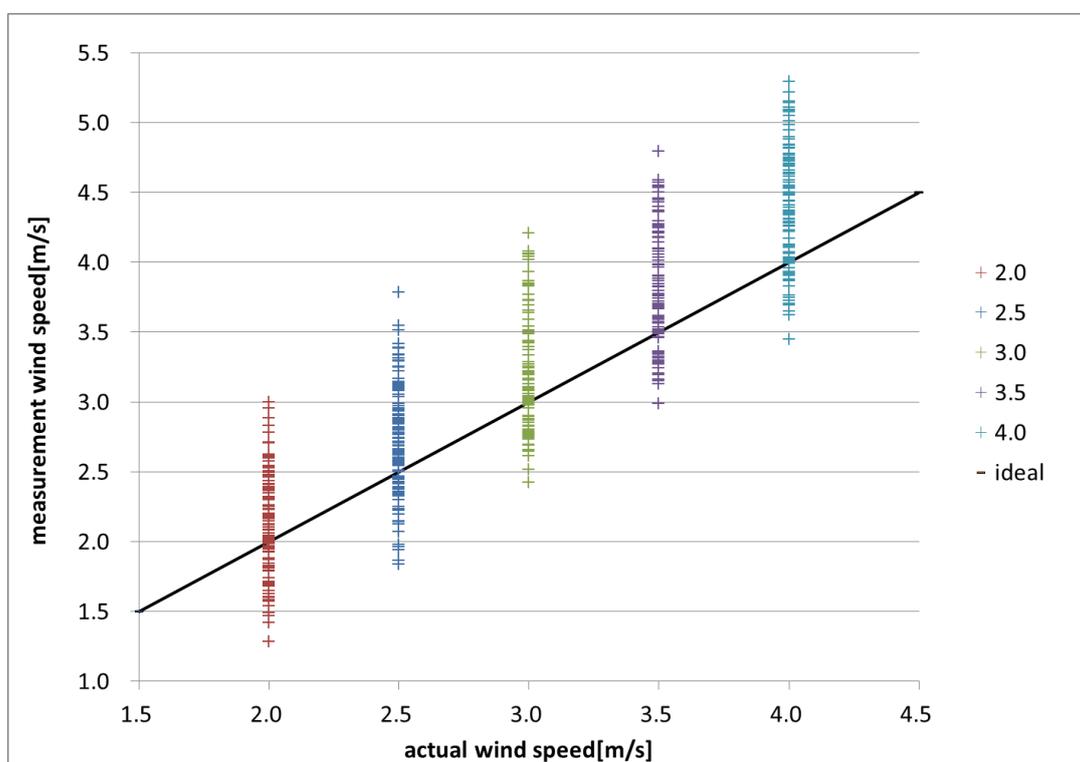
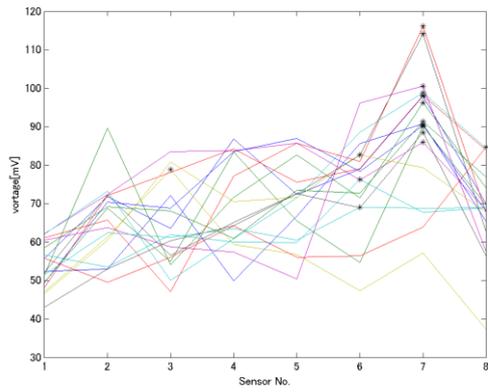
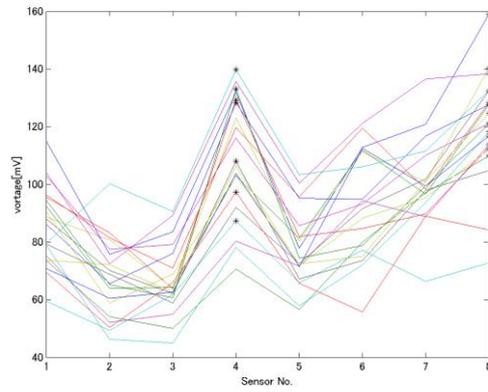


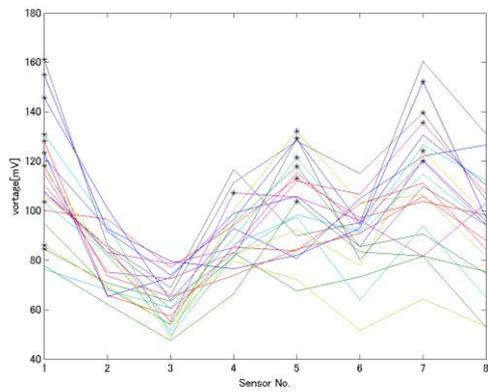
Fig. 16 actual and measurement wind speed



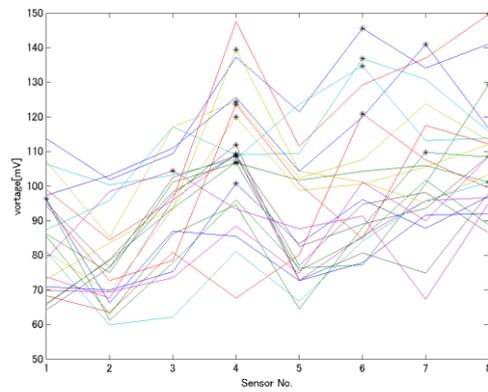
Leeward = sensor No.3



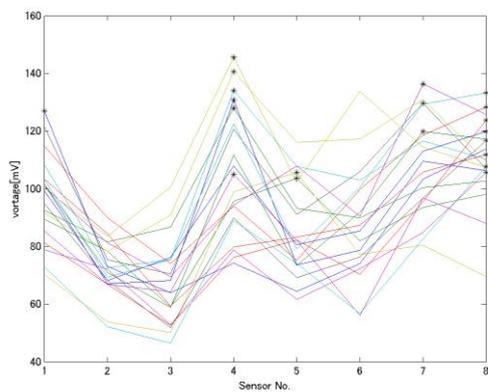
Leeward = sensor No.4



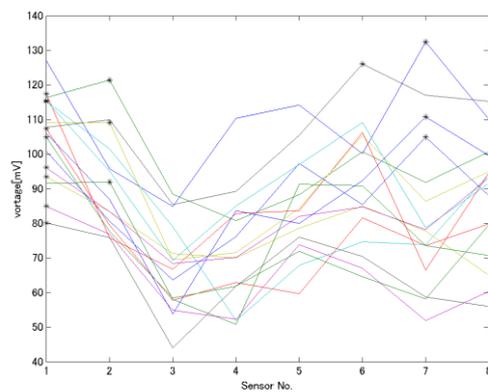
Leeward = sensor No.5



Leeward = sensor No.3&4

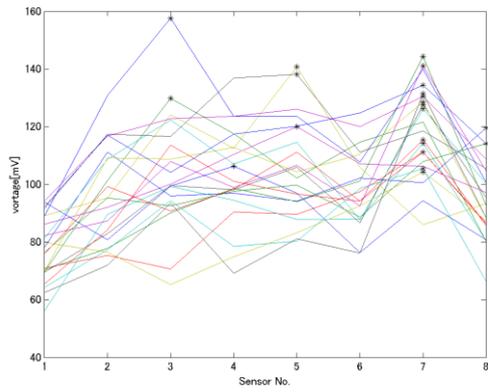


Leeward = sensor No.4&5

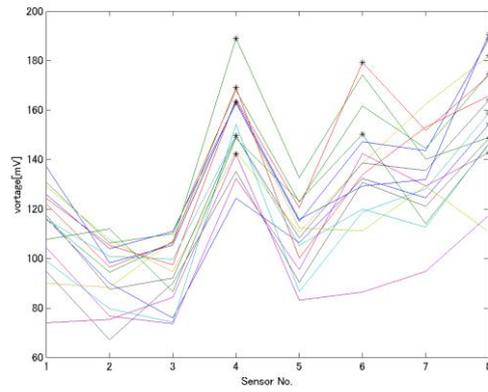


Leeward = sensor No.5&6

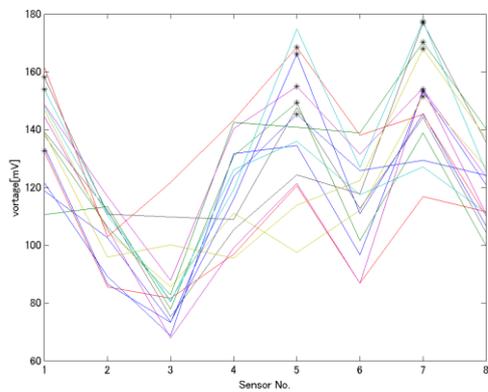
Fig. 17(a) result of wind speed 2.0[m/s]



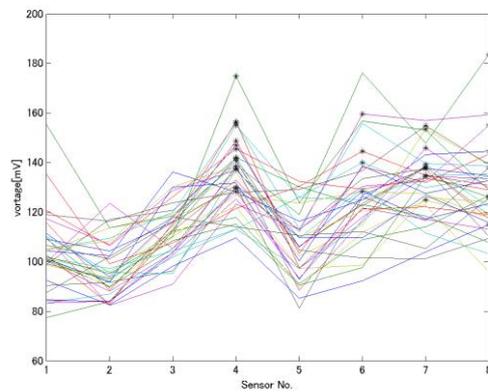
Leeward = sensor No.3



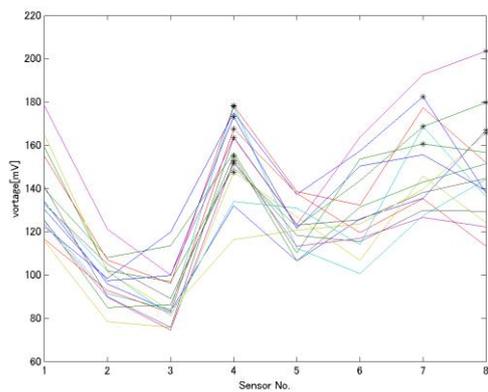
Leeward = sensor No.4



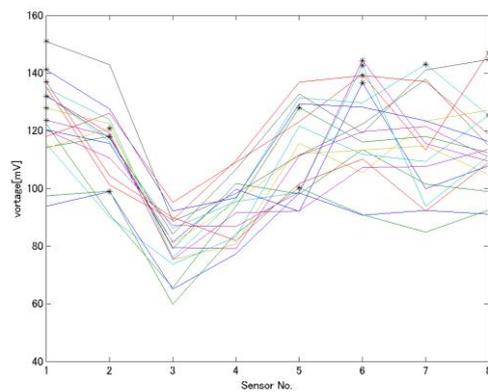
Leeward = sensor No.5



Leeward = sensor No.3&4

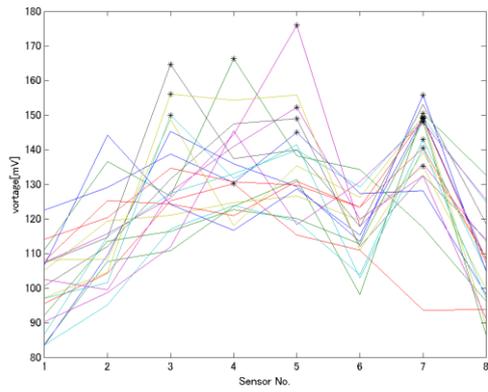


Leeward = sensor No.4&5

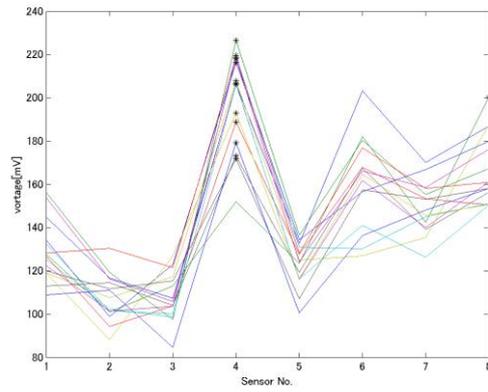


Leeward = sensor No.5&6

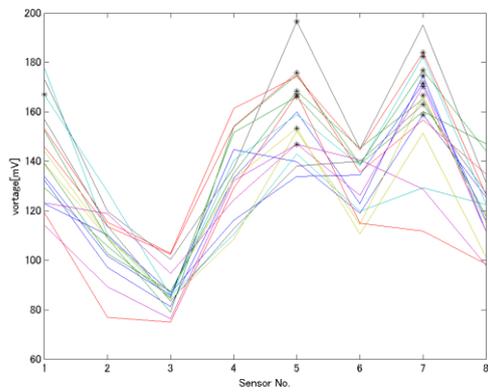
Fig. 17(b) result of wind speed 2.5[m/s]



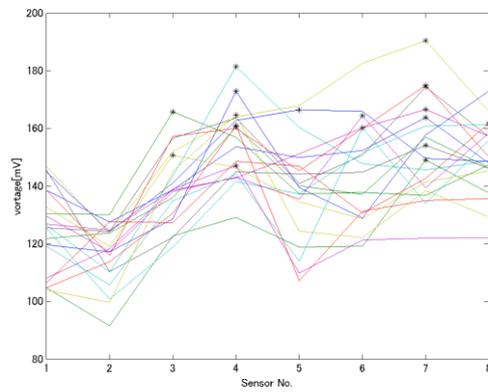
Leeward = sensor No.3



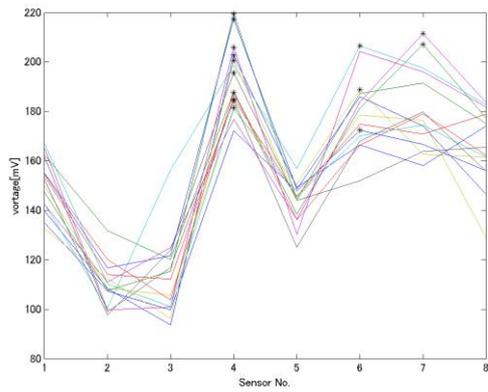
Leeward = sensor No.4



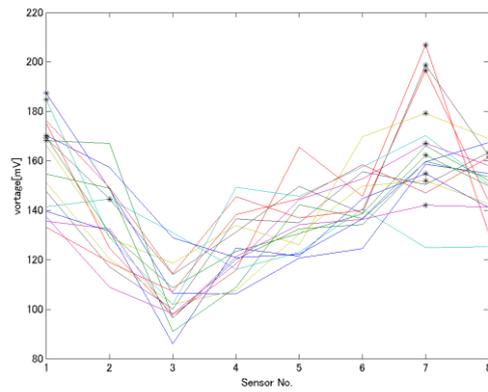
Leeward = sensor No.5



Leeward = sensor No.3&4

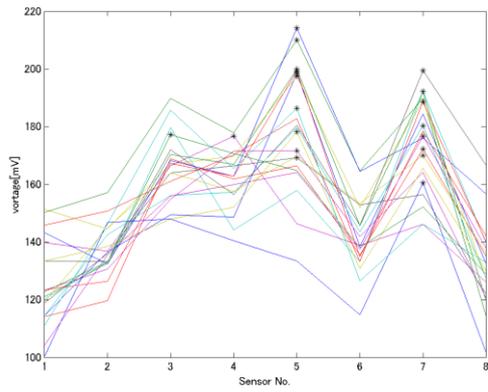


Leeward = sensor No.4&5

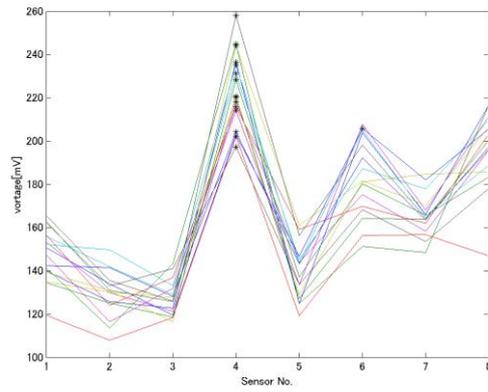


Leeward = sensor No.5&6

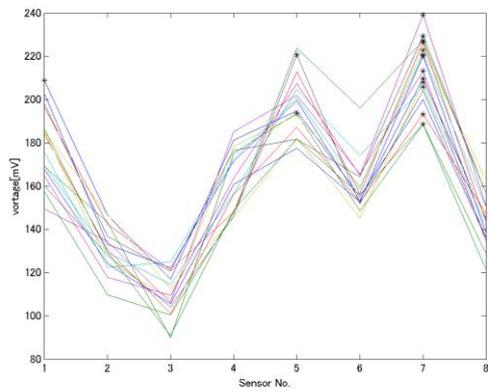
Fig. 17(c) result of wind speed 3.0[m/s]



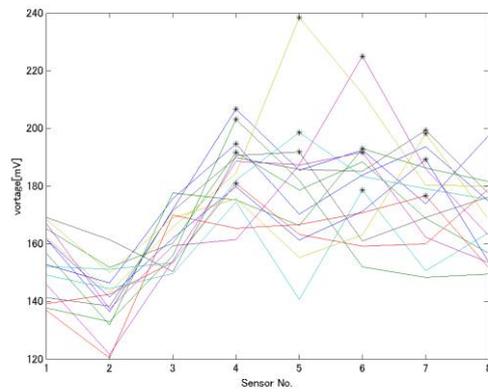
Leeward = sensor No.3



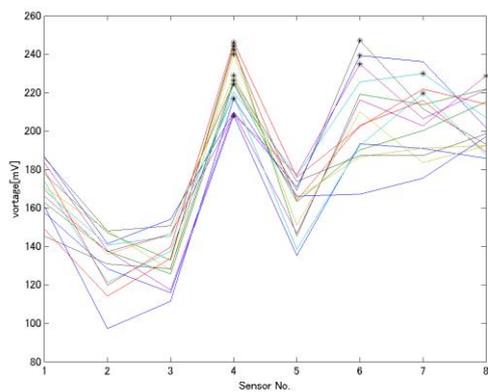
Leeward = sensor No.4



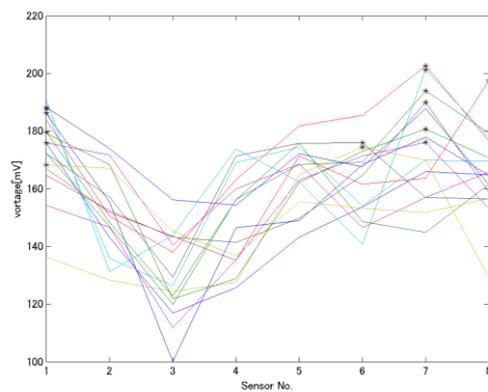
Leeward = sensor No.5



Leeward = sensor No.3&4

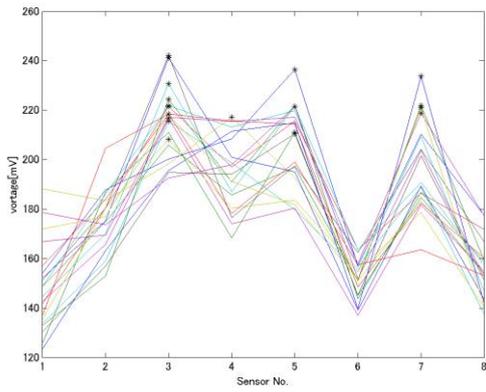


Leeward = sensor No.4&5

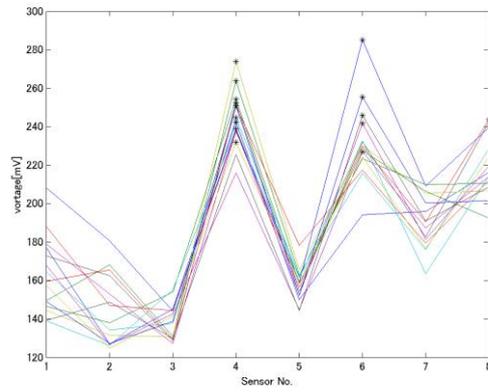


Leeward = sensor No.5&6

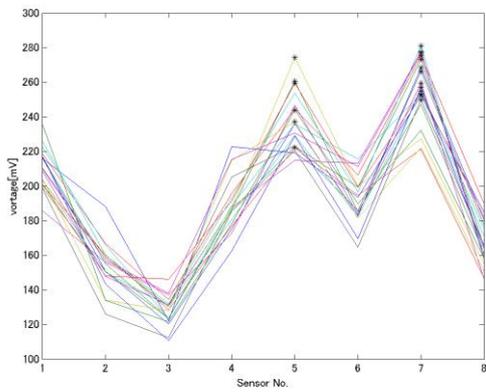
Fig. 17(d) result of wind speed 3.5[m/s]



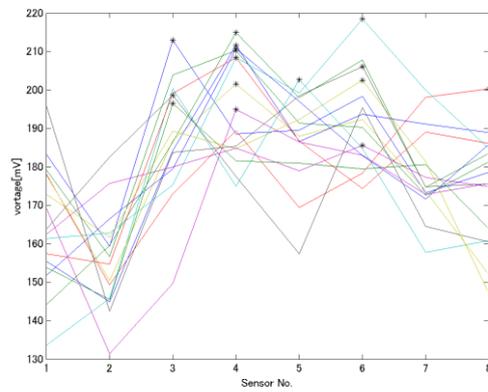
Leeward = sensor No.3



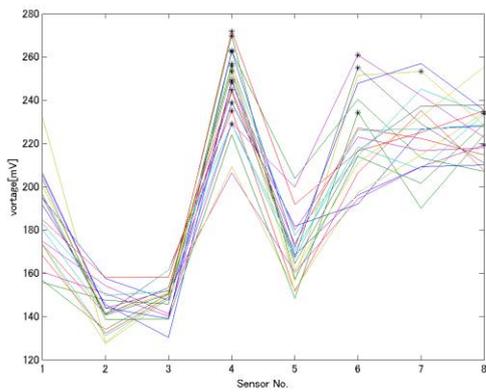
Leeward = sensor No.4



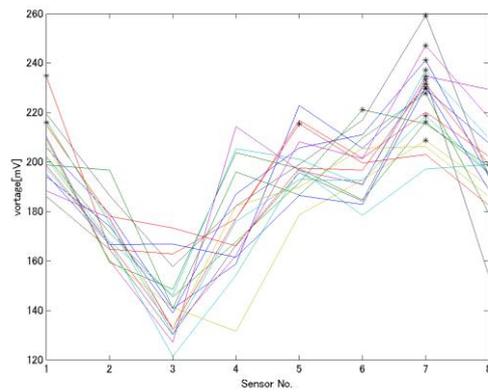
Leeward = sensor No.5



Leeward = sensor No.3&4



Leeward = sensor No.4&5



Leeward = sensor No.5&6

Fig. 17(e) result of wind speed 4.0[m/s]

(3) 実験考察

二次近似による風速の算出を行う基となった電圧差を Fig. 18 に示す. 基となっている電圧差自体に大きなばらつきが生じていることが確認できる. このばらつきは先の実機実験 1 では, ここまで大きなばらつきは生じていなかったため, 本機自体がばらつきを発生させているのではないと考えられる. 実験時の風速測定において大型扇風機の風にはムラが生じていた. このムラがばらつきの原因でないかと考えられる. 測定時に風速計が同じ値を示さず ± 2 [m/s]程で波を打っていたため, その影響がこのばらつきに繋がったと考えられる. 但し, 実機実験 1 と比較してばらつきが大きいため, プロペラ型の風速計ではプロペラの慣性によりその瞬間の速度を測ることができず, 慣性で引きずられてしまう. そのため, 本機が正しく測定できているのか検証するのは難しくなっている.

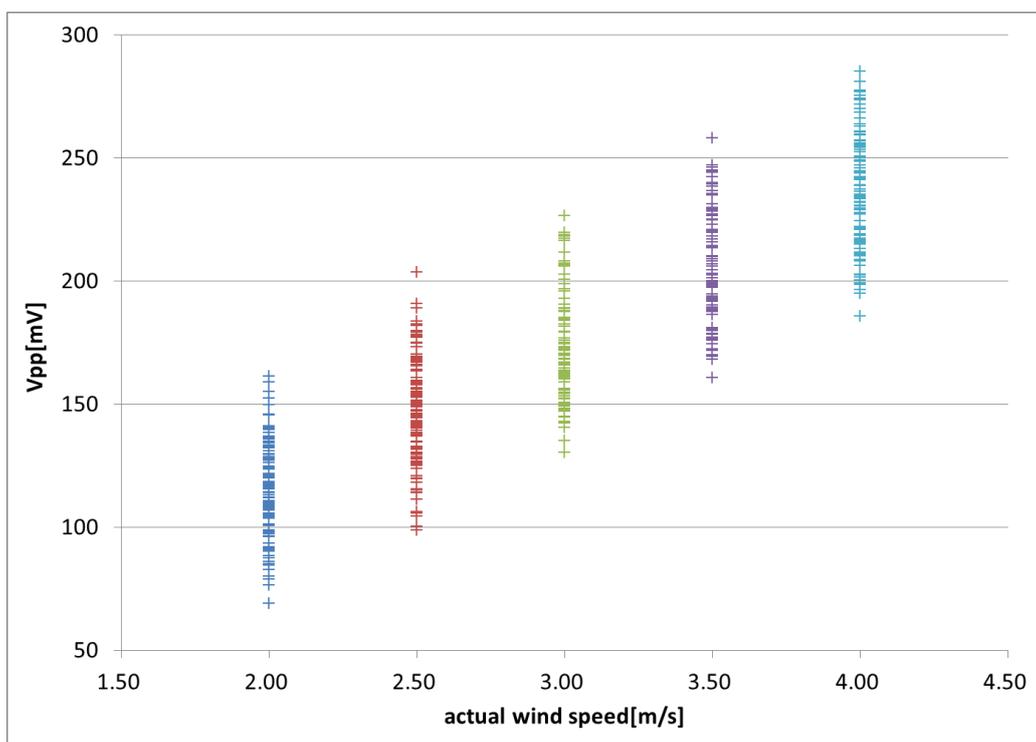


Fig. 18 actual wind speed and Vpp

7. おわりに

本論文では、既存の可動部を持つ風向風速計より無可動という構造的に強固となる風向風速計の開発を行った。シミュレーションを行い、カルマン渦の影響を最も受け易い最適な測定棒までの距離 R が 7 [cm] であることを導いた。また、風向風速の算出方法をシミュレーションで試すことによって妥当と判断される近似方法決定した。

実機実験 1 において風速計は、73.8%の確率である為、実用化させるためにはより高精度にする必要がある。風向の方は算出方法を再検討し、精度を向上させる他に確実に風向を計測できるようにする必要がある。

実機実験 2 において、製作した実機が瞬間的な風速を捉えており、ばらつきが生じている。強力なローパスフィルタを掛ける等して除去する必要がある。この実験では、扇風機によるムラの発生が顕著である。しかし、将来的に外気の測定を考慮に入れるとこのムラは外乱と言えるのでまずは、この環境でより正確な測定方法を模索し見つければ外気に対しても効果があると考えられるので検討する必要がある。

実際の使用に際してプロペラ型の風速計のプロペラの減速特性を加味することで、プロペラ型の風速計と同じ使用感でカルマン渦型も使用できるのではないかと考えられる。

カルマン渦型風向風速計が実現することで、今まで設置できなかった耕作地の中央等に設置する場合や過酷な環境においても風速の測定が期待できる結果となった。

参考文献

- 1) 大後美保：日本作物気象の研究，朝倉書店，pp.2-32，1947
- 2) 日本機械学会編：機械工学便覧 基礎編 A5 流体力学 新版，日本機械学会，pp.100，1986
- 3) 田中祐一，水木新平，辻田星歩：直列に配列した 2 円柱まわりの流れに関する研究，法政大学大学院工学研究科 vol.18 (2005)
- 4) K.Watanabe, Y. Kurihara, T. Nakamura, and T. Hiroshi : Design of a Low-Frequency Microphone for Mobile Phones and Its Application to Ubiquitous Medical and Healthcare Monitoring, IEEE Sensor Journal, 2009

謝辞

本研究を進めていくにあたり、ご指導をしていただいた渡辺嘉二郎教授、小林一行教授に深く感謝申し上げます。

また、実験を手伝ってくださった長坂研究室の石橋直人さん、研究を進める中で支えてくれた渡辺研究室の M2, M1, B4 の方々に感謝します。

皆様、ありがとうございました。

最後になりましたが、最後に大学4年間と修士2年間を支え続けていただいた両親をはじめ家族全員に深く感謝致します。

2011年2月25日

福田 芳久