

笛の原理を利用した車両用対空速度計の開発

金子, 智成 / KANEKO, Tomonari

(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)

2010 年度 修士論文

笛の原理を利用した車両用対空速度計の開発
Experimental study on wind-based vehicle speedometer
applying the whistle principle

指導教授 小林一行 教授

大学院工学研究科
システム工学専攻修士課程

09R6106

カネコ トモナリ

金子 智成

Abstract

It is important to consider the effect of wind when driving a vehicle at high speeds since the rate of fuel consumption may change according to wind direction in relation to vehicle driving direction. In order to minimize fuel consumption when driving at high speeds, it is necessary to control the relative vehicle speed against the wind. This paper proposes a new type of speedometer that is based on wind speed instead of conventional ground speed. For the detection of wind speed, we focus on the whistle principle where the frequency of the whistle sound is proportional to the airflow rate. To measure the wind speed as airflow rate, we developed a special whistle suitable for a wind-based vehicle speedometer by using CAD software for three – dimensional modeling. Characteristics of the developed wind-based vehicle speedometer were tested in indoor experiments. The validity of the proposed method was confirmed by the experiments.

Keywords: speedometer, whistle, vehicle, CAD

目次

第一章 序論	5
1. 1 背景と目的	5
1. 2 車が受ける空気抵抗	5
1. 2. 1 どれほどの空気抵抗を車は受けているのか？	6
1. 2. 2 速度と空気抵抗の関係	7
第二章 対空速度計における流量計測	8
2. 1 流量計測について	8
2. 2 流量計測の歴史	8
2. 3 各種流量計について	9
第三章 提案するシステム	15
3. 1 カルマン渦による対空速度計	15
3. 1. 1 カルマン渦	15
3. 1. 2 提案するカルマン渦による対空速度計	16
3. 1. 3 空気圧センサの構造	17
3. 1. 4 カルマン渦式対空速度計の性能の検証	19
3. 2 笛の原理を利用した対空速度計	20
3. 2. 1 笛	20
3. 2. 2 提案する笛の原理を利用した対空速度計	21
3. 2. 3 笛の原理を利用した対空速度計の性能の検証	21
第四章 対空速度計の作製	23
4. 1 設計	23
4. 1. 1 Solidworks 2008 SP2. 1	23
4. 2 切削	25

4. 2. 1 MDX-20 とは	25
4. 2. 2 MODELA PLAYER 4 とは	26
4. 3 作業工程	26
4. 4 完成した対空速度計	33
第五章 作製した笛の原理を利用した対空速度計を用いた実験	35
5. 1 作製した笛の原理を利用した対空速度計の特性実験	35
5. 2 屋外による作製した笛の原理を利用した対空速度計の実験	39
5. 3 考察	42
第六章 結論	43
謝辞	44
参考文献	45
付録	46

第一章 序論

1. 1 背景と目的

今も昔も燃費改善という課題は自動車業界での最大の課題である。ハイブリットカー、バイオエタノール、水素エンジン、燃料電池など、次世代の動力源の開発も重要であるが、運転の仕方を変えることでも燃費の改善はできる。

現在では、ドライバーの燃費に対する意識を高めるために燃費計を装備した車が数多く出回っている。

車の燃費に影響を与える要因としてはエンジンの性能、車の車重、タイヤ、車が受ける風の強さ（＝空気抵抗）などいろいろな要因が絡み合っている。特に、高速道路を走行中のバスやトラックなどにとっては、空気抵抗が非常に重要な燃費を左右する要因の 1 つになっている。

本研究では、車が受ける風の速さ（＝対空速度）に着目する。対空速度計を車に搭載することにより走行中に追い風・向かい風をどのくらい受けているのかを表示することができる。ドライバーがそれを知ることによって追い風では早めに、向かい風では遅めに走行することで燃費に配慮したドライブを支援する装置を開発することを目的としている。

1. 2 車が受ける空気抵抗

流体力学では、流れの方向に作用する力（＝空気から受ける力）を抗力と呼ぶ。一般に流体力は動圧 $\frac{1}{2}\rho U^2$ に比例する。そこで動圧に対する抗力の割合を抗力係数 C_d と定義する。

以下に効力 D についての式を示す。

$$D = C_d(\text{Re}) \frac{1}{2} \rho U^2 A \quad (1)$$

式中の文字

D	:	効力
C_d	:	抗力係数
ρ	:	密度
U	:	速度
A	:	面積

A の面積は自動車の場合、前面投影面積（物体を正面から見たときのボデーのシルエットの面積）を用いる。

1. 2. 1 どれほどの空気抵抗を車は受けているのか？

例として以下に一般的なバスを取り上げ、どれほどの空気抵抗を受けているのかを示す。

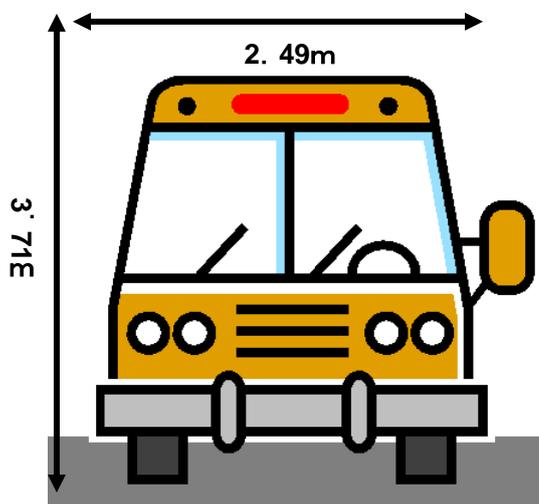


図1 バスの前面投影面積

図1のバスの場合、前面投影面積 A は $3.71 \times 2.49 \div 9.24\text{m}^2$ となる。

そのときの効力 D は以下のようなになる。

80(km/h) のとき約 1639.4 (N)

90(km/h) のとき約 2079 (N)

100(km/h) のとき約 2552.3 (N)

110(km/h) のとき約 3094 (N)

となる。

これより、90(km/h) と 110(km/h) とでは 1000 ニュートン以上もの差が生じている。

1. 2. 2 速度と空気抵抗の関係

以下に、抗力係数の変化による速度と効力の関係を図 2 に、速度と消費燃料の関係を図 3 に示す。

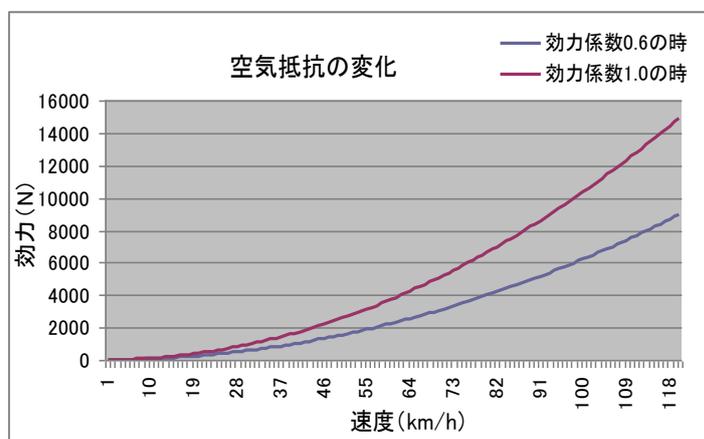


図 2 抗力係数の変化による速度と効力の関係

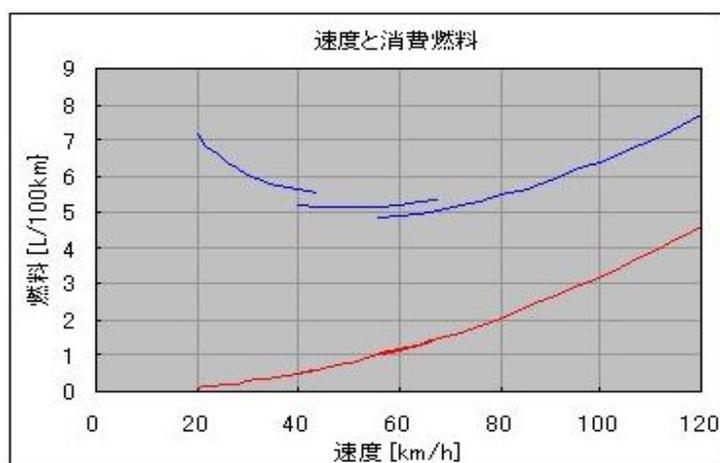


図 3 速度の変化による消費燃料と空気抵抗の関係

[青い線は 100 km を走行するために消費する燃料の量 (L)，赤い線はその内の空気抵抗の占める割合]

図 2 より、効力は速度の 2 乗に比例するため速度が速くなるにつれて効力の増加は非常に大きくなっていく。

図 3 より、速度が増加するにつれて消費燃料における空気抵抗の占める割合が増加していく。120 (km/h) で走ると、空気抵抗によるガソリン消費量が 85 (km/h) で走るときの 2 倍にもなってしまふ。100 (km/h) では燃料の半分を空気抵抗に打ち勝つためだけに使っている。

第二章 対空速度計における流量計測

流体力学では、流体（空気や液体）が移動する量を流量といい、流量を測定するものを流量計という。流量計に流体を通して対空速度を計測する。ここで流量の計測、システムの歴史について詳しく説明する。

2. 1 流量計測について

各種製造業、計測、分析など流体を扱うすべての分野において、要求される測定精度は様々であるが、流量計が必要とされる。このことは、流量計が各種製品の製造過程において必要不可欠な存在であることを示している。ここでは、単に流量計と叫びたが、実際には流量計には様々な種類があり、一言で流量計と片付けられない現状がある。流量計によって、利用する物理現象が異なるのはもちろん、測定対象(気体、液体など)や測定範囲、測定精度なども異なる。共通して言えることは、流量計は管路に流れている流体の流量(質量流量または体積流量)を数値として示すということだけである。そこで、本章では流量計測の歴史を振り返りつつ、各種流量計の簡単な原理等を紹介したいと思う。

2. 2 流量計測の歴史

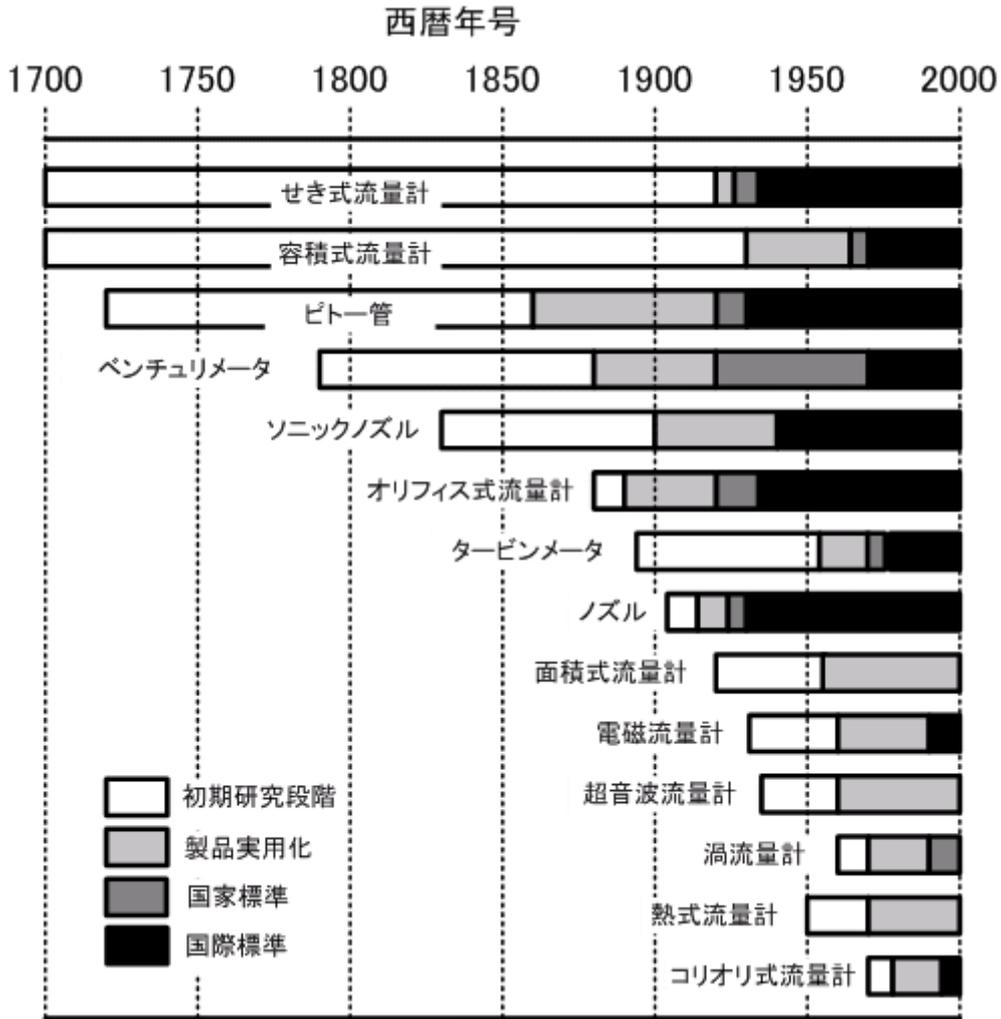
流量計開発のルーツを探ると、数千年前にナイル河の流量を水位計（ニロメータ）で計測したことに始まるとされている。また流量計測の概念は、古代ローマでヘロン（ギリシア、前130～75）が流量は「流速×流路の断面積」であると提案し、ローマ水道の1日の送水量を99万 m^3 と計算したことに始まったとされている。

一方で現在の流量計の基となる原理は1700年頃から発見されてきたようである。1700年代というニュートン力学が発展した時期と重なり、数多くの力学現象が明らかにされた時代でもある。この時代は、流量計測の基となる多くの力学現象も明らかにされた。例えば、多くの流量計の原理となっているベルヌーイの法則は1738年に発表されている。しかし、現在のように自動制御のために流量計を用いるようになるのは、200年程先の話となる。

世界で始めて、自動制御のために流量計が用いられたのは1920年代のアメリカの石油精製プロセスが始まりである。ただし、この当時は現在のように多種多様な流量計はなく、実用的に用いられたのは、いち早く実用化されたオリフィス流量計やベンチュリメータなどであった。表1参照。

その後、工業化社会の発展に伴い様々な流量計が開発、実用化されてきた。そして、現在では表1に示すように、名前の知られている流量計としては13種類ほど存在する。以下に表1に示した流量計の原理について記述する。

表1 流量計の歴史



2.3 各種流量計について

本章では、表1に示す各種流量計について記述する。

●せき式流量計

水路の途中または末端に仕切板（これをせき板という）を設け、流れがこのせき板を乗り越えて自由落下するような状態にしてやると、せき板の上流側水位は流量と一定の関係を持つようになる。そこでこの水位を検出して流量を測定する。せき板の形状には全幅せき、四角せき、三角せきがあり、流量の多少に応じて使い分けられている。水位の検出にはフロート式、ディスプレイメント式、超音波式、静電容量式、触針式、側圧式、パージ式等が使用される。

●容積式流量計

容積式流量計は、流量計内部に運動子を持ち、この運動子が流入口から流れ込む流体の圧力によって作動し、その作動によって流入口から流出口へ流体が送り込まれる構造になっている。この時、運動子の作動の途中に、運動子と流量計のケースとの間に一定容積の空間部が形成され、その空間に流れる流体を充満させては、運動子の作動とともにその流体を流出側へ送るようになっている。そこで、この一定体積の空間部を予め求めておけば、運動子の作動回数を測定することにより通過した流体の体積が求められる。

容積式流量計には様々なタイプのものであるが、それらの違いは運動子の形式の違いによる。運動子には、ピストン式やロータリーベーン式、歯車式などがある。

●ピトー管

ピトー管は差圧計の一種で、流れに対し正面と直角方向に小孔を持ち、それぞれの孔から別々に圧力を取り出す細管が内蔵されている。その圧力差（前者を全圧、後者を静圧）を測定することにより、流速を知ることができる。今日では、航空機の対気速度の測定に使われることが多い。図4参照。

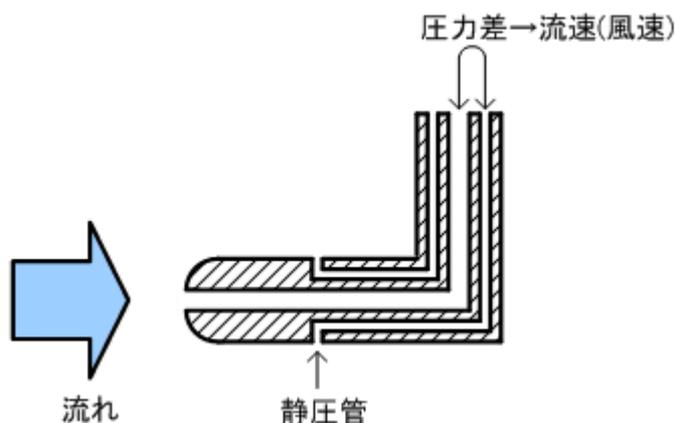


図4 ピトー管

●絞り流量計(ベンチュリメータ, オリフィス式流量計, ノズル)

絞り流量計は、長い歴史を持ち、その構造が簡単で取り扱いが容易であることから、工業的に使われている流量計でもっとも多く使用されている流量計である。絞り流量計には、絞り機構の違いによりベンチュリメータ、オリフィス式流量計、ノズルなどがあるが、基本的な原理は同じである。絞り流量計の原理は、管の一部を絞り機構を設け、その絞りの前後の差圧が流速に比例することを用いたものである。図5参照。

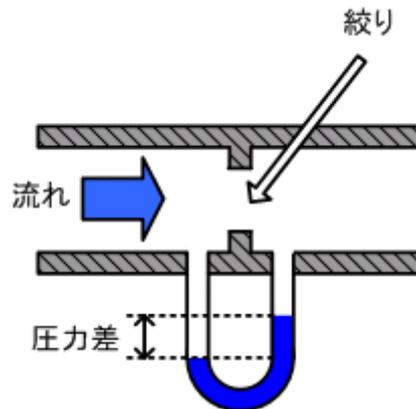


図5 絞リ流量計

●ソニックノズル

ソニックノズルの流量測定の原理は、流れの臨界現象利用するということである。流れの臨界現象とは、次のような現象をいう。

管路に気体を流す時、管路途中に狭搾部を設けておく。上流側から常に一定の圧力で気体を流して管路の下流側を真空ポンプで減圧する。下流を減圧することで管路の流速は増加し結果的に管路に流れる流量も増加する。さらに減圧すると流速はさらに増加し、ついには、狭窄部で音速になる。この後は、いくら下流側の圧力を下げても狭窄部の流速は音速以上にはならず、音速で固定される。この時、流れが臨界したという。

ソニックノズルの測定原理について式を用いて説明する。狭窄部の断面積を S [m²]、狭窄部での密度を ρ [kg/m³]、流速を u [m/s] とすると、狭窄部を通過する質量流量 Q_m は式のように表される。

$$Q_m = S\rho u$$

臨界すると u は音速に固定される。 ρ は狭窄部の上流側の圧力と温度から計算することができる。したがって、ソニックノズルの上流側に圧力、温度を測定する圧力計、温度計を組み込んで密度を計算するようにすれば、質量流量を測定することができる。

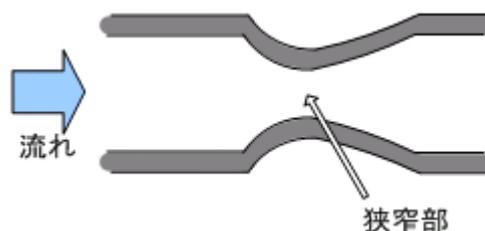


図6 ソニックノズル

●タービンメータ

タービンメータは流れによって回転する羽根車の回転速度を測定して流量を求める方式の流量計である。羽根車は、流速に比例した角速度で回転する。したがって、羽根車の角速度から流速が得られ、積算回転数から流体の通過体積が求まる。

●面積式流量計

面積式流量は、図7に示すように、下から上に向かって広がった透明なテーパ管の中にフロート(浮き)があり、このフロートが流れの強弱によって上下方向に動くことを利用したものである。

動作原理は以下の通りである。

- (1) フロートが上がるにつれて、テーパ管の内壁とフロートの間から流体が抜け出る量が増え、フロートを押し上げる力が弱くなる。
- (2) フロートはその押し上げ力と重さがバランスした位置で止まる。
- (3) バランスのとれた位置から流量を求める。

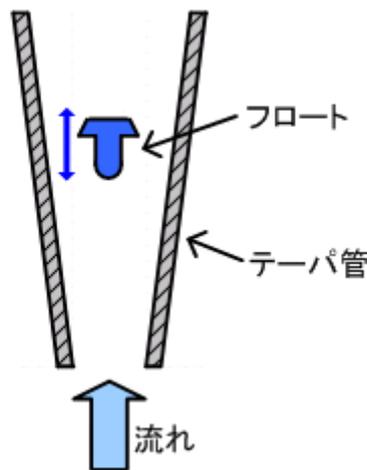


図7 面積式流量計

●電磁流量計

磁界中を導体が横切って動くときに、速度に比例した電圧が導体中に誘起されるという電磁誘導の法則を利用して流速あるいは流量を求めるのが、電磁流量計である。図8参照。

電磁誘導の法則を利用するというので、測定対象の流体は導電性を有するものである必要がある。したがって、油や普通の状態の気体の測定はできない。電磁流量計は急激に変動する流れに対して使用しても測定原理的にはなんらさしつかえなく、応答が非常に速いので、変動する流れの様子などを測定する場合には都合がよい。また管路中に流れを阻害するものが無いことも大きな長所である。

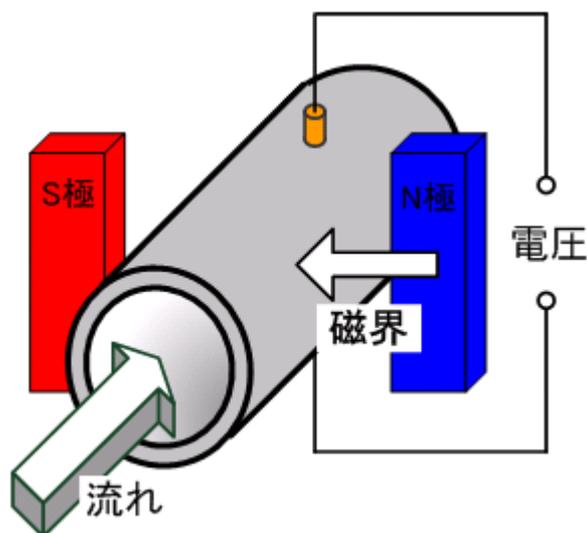


図8 電磁流量計

●超音波流量計

超音波流量計にはいくつかの方式があるが、最も一般的なものは管路の側壁に相対して超音波発信器と受信器を取り付け、発信器からの超音波が受信器に伝わる速さが、管路内の流体の流速に比例して変化することを利用した方式のものである。図9参照。

その他の方式としては、ドップラー効果を用いたものや位相差を用いたものがある。

超音波流量計は、工業分野だけでなく、医用や海洋観測、河川など幅広い分野で使われている。

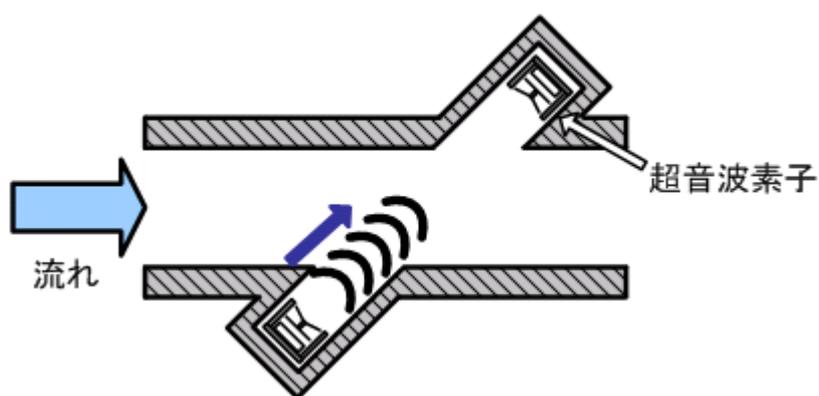


図9 超音波流量計

●渦流量計

渦流量計については、3章で詳しく扱うので、ここでは省略する。

●熱式流量計

流れと熱の移動、あるいは流れている流体と固体の間の熱の交換は互いに密接な関係を持つ。この関係を利用した流量計が熱式流量計である。熱式流量計には大きく分けて以下の二つの方式がある。

- ・加熱された物体の冷却率が流速の関数になることを利用し、加熱物体の温度を測定して流速を求める方式
- ・流体を加熱するのに、ある温度の上昇に必要なエネルギーが流速の関数となることを利用する方式

熱式流量計は、半導体産業などで気体の質量流量を微小な流量を計測する用途に使われることが多い。

●コリオリ式流量計

コリオリ式流量計はコリオリの力を利用した流量計である。原理を以下の通りである。

二本のU字型のチューブをその軸に垂直方向に位相をずらして振動させる。この時、このU字型チューブの内部を流体が流れると流体の質量流量に対応したコリオリ力が作用して二本のチューブの振動に初期の位相差からの位相にズレが生じる。そこで、この位相差を計測すればその時の質量流量を知ることができる。図10参照。

コリオリ流量計は、振動などの外乱がなく、急激な圧力や温度変化などがない条件下では極めて優れた特性を示す。しかし、常にチューブを強制的に振動させているので、振動部分の強度的な問題がついてまわる。

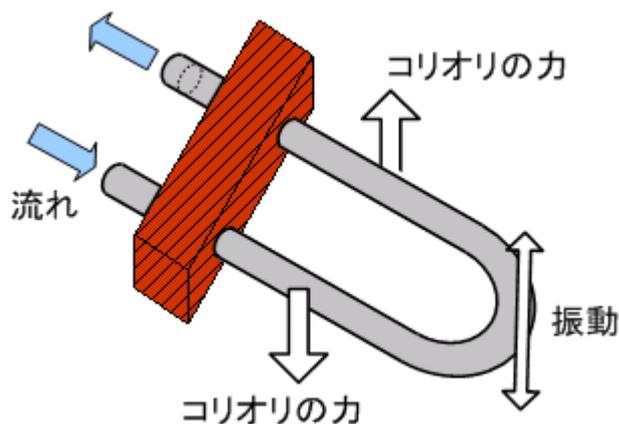


図10 コリオリ式流量計

第三章 提案するシステム

本研究では周波数測定を行って対空速度を求める方法として、(1) カルマン渦式の方法、(2) 笛の原理を用いた方法、の2つの方式について検証する。いずれの方法も、ピトー管や超音波を用いた対空速度計とは違い、機構がシンプルで作りやすく機械的可動部がなく、安価で作成できる等の利点がある。

3. 1 カルマン渦による対空速度計

カルマン渦の性質と提案するカルマン渦による対空速度計について記述する。

3. 1. 1 カルマン渦

物体が流体の中を運動したり、流れの中に物体が置かれたりすると、はく離渦を生じる。このはく離渦で代表的なのがカルマン渦である。カルマン渦とは、流れの中に円柱または角柱のような形状の物体を置いたときに、柱の下流に交互に現れる巻きの向きが異なる2列の渦のことである。図11参照。



図11 カルマン渦の様子

このカルマン渦は、流体力学において有名な現象としてよく知られている。日常でカルマン渦が見られる例としては、電線が強風に揺れるときに発生する「ヒュー」という音がある。また、カルマン渦と聞くと、カルマン渦が原因で起こったとされる事故“タコマ橋の崩壊”を思い浮かべる人も多いのではないだろうか。

このカルマン渦の性質を流量計に応用したのがカルマン渦流量計である。カルマン渦流量計を実現するに当たって重要なカルマン渦の性質を以下に示す。

(1) 単位時間当たりに放出される渦の数

単位時間当たりに放出される渦の数は渦周波数 f [1/s] と呼ばれている。この渦放出周波数を計測することにより流速を測定することができる。渦放出周波数 f [1/s] は(2)式であらわされる。

$$f = S_t \frac{U}{d} \quad (2)$$

ただし、 U [m/s]は流速、 d [m]は円柱の直径、 S_t はストローハル数である。ストローハル周波数は無次元数で、円柱で約0.2、角柱で約0.16であることが知られている。

(1)式の渦周波数 f [1/s]より流速を求められることがわかる。

(2) 渦によって円柱の周りに生じる振動揚力

図11のように円柱から渦が放出されると、そのたびに円柱の周囲の循環が変化する。その結果、流れと垂直な方向の力(揚力)が発生する。この揚力の変化をセンサで検出することで流量を計測することができる。

円柱の単位長さ当りに生じる揚力を L [N/m]とすると、 L [N/m]は(3)式であらわされる。

$$L = k\rho dU^2 \quad (3)$$

ただし k は比例定数、 ρ [kg/m³]は流体の密度、 d [m]は柱の直径、 U [m/s]は流速である。

(2)式からカルマン渦発生時の柱の周りに生じる振動揚力をセンサで検出することを考えたとき、センサ信号の大きさは流体の密度の一乗、流速の二乗に比例することがわかる。

3. 1. 2 提案するカルマン渦による対空速度計

本論文が提案するカルマン渦を検出する機構全体(計測システム)、空気圧センサの構造について記述する。

●計測システム

提案する計測システムを図12に示す。

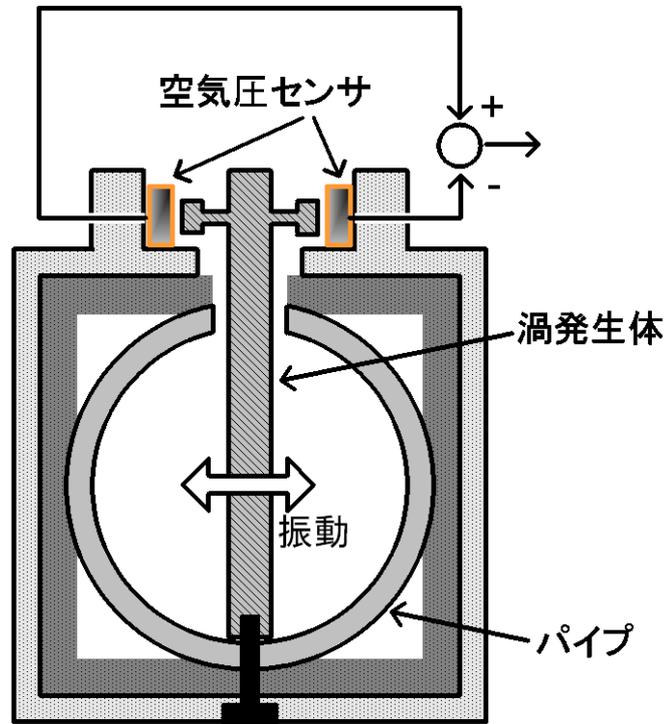


図 12 計測システム

本計測システムはカルマン渦を発生させる渦発生体，空気センサで構成されている．それぞれの役割を以下に示す．

●渦発生体

渦発生体は，パイプ内に流体が流れたときにカルマン渦を発生させる．

渦発生体の直径 d とパイプの内径 D の比は次式のように設定するのが一般的である．

$$\frac{d}{D} = 0.2 \sim 0.3 \quad (3)$$

●空気圧センサ

空気圧センサは，カルマン渦発生時に渦発生体の回りに生じる振動揚力を検出する．設置位置は図 12 に示すように，渦発生体の上部に設置する．

3. 1. 3 空気圧センサの構造

提案するシステムでは，センサエレメントとしてエレクトレット・コンデンサ・マイクロホン (ECM) を使用する．ECM の構造を図 13 に示す．

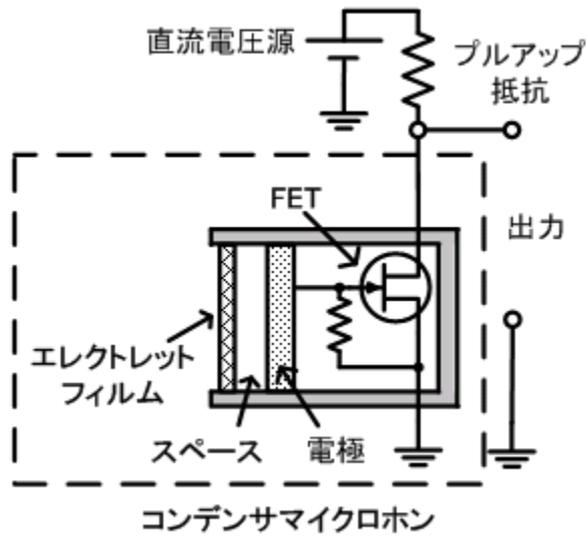


図 13 エレクトレット・コンデンサ・マイクロホン (ECM) の構造

ECM は、その前面にエレクトレットフィルムと電極が微小なスペースを持って装着されている。エレクトレットフィルムには電荷が放電することなく蓄えられている。このフィルムが圧力を受けて歪むと、フィルムと電極の間のスペースが変化する。このスペースの変化に応じて静電容量が変化する。その結果、電圧信号として圧力の変化を検出することができる。電圧信号はコンデンサマイクロホン内にある FET(Field Effect Transistor)で増幅されて出力される。

本システムは、この ECM に簡単な構造を加え、空気圧センサとして利用する。提案する空気圧センサは ECM、アクリルチューブ、OHP シートで構成されている。図 14 参照。

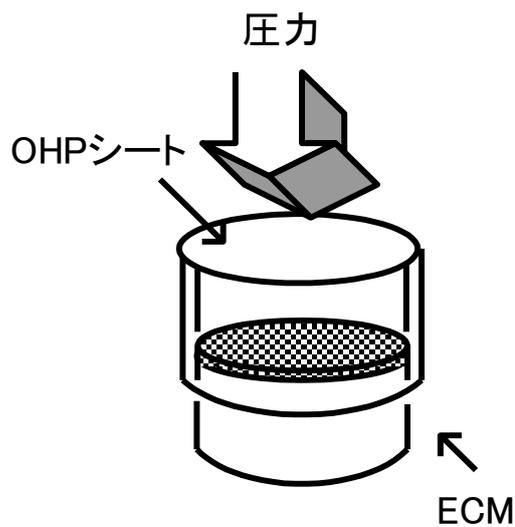


図 14 ECM 型空気圧センサ

アクリルチューブの一端を ECM で、もう一端を OHP シートで閉じる。OHP シートは渦発生体の周りに生じる振動揚力を受ける。OHP シートに力が加わると、アクリルチューブ内の圧力が変化し、ECM がその変化を検出する。

3. 1. 4 カルマン渦式対空速度計の性能の検証

今回提案するカルマン渦式対空速度計の対空速度計の概観図を図 15 に示す。対空速度計としての性能を検証するため、このカルマン渦式対空速度計にドライヤーで風速 6.4[m/s] の風を当て周波数測定を行い、FFT 変換を行った結果を図 16 に示す。



図 15 カルマン渦式対空速度計の概観図

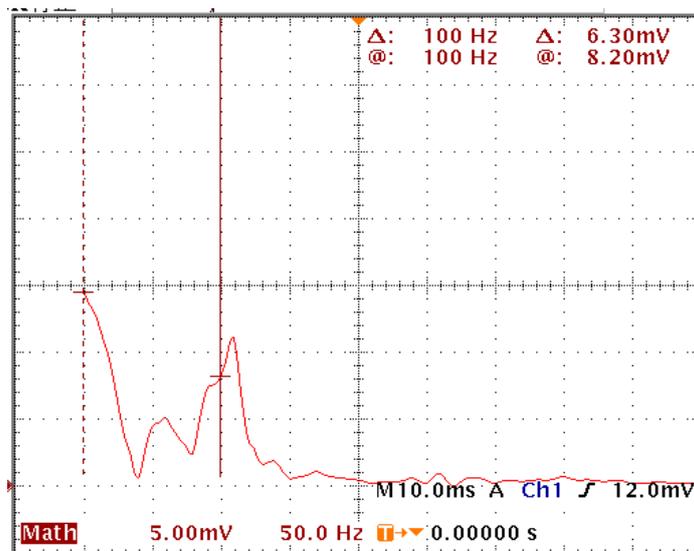


図 16 カルマン渦式対空速度計を用いて周波数測定を行った FFT 結果
(6.4[m/s])

作製したカルマン渦式対空速度計は誤差が大きく、値が不安定だったため計測が困難であった。S/N 比も低く、対空速度計として適していなかった。

3.2 笛の原理を利用した対空速度計

笛の性質と提案する笛の原理を用いた対空速度計について記述する。

3.2.1 笛

笛はエッジに空気がぶつかり、風が上下に震動することで音が発生する。詳細は下に示す。

1. 薄い板状になった空気（層流）が、吹き出し口から出てエッジの先端に当たる
2. 上に行くか下に行くかそのときの複雑な条件により分かれる（この場合、下に行くとする）
3. 下側に行った息の板が吹き出し口とエッジの間の空気を下に押し下げる
4. 押し下げられた空気の圧力が高くなる
5. 下の圧力が高くなるので息の板が上に押し上げられる
6. 勢い余ってさらに上に行く
7. 今度は上側の圧力が高くなり、息の板が下へ押し下げられる
8. 3から7を繰り返す

吹き出し口とエッジの間の空気の上下の圧力が高くなったり低くなったりすることで、息の板が上下に動き、バネのように振動する。この振動（=空気の粗密）が管の中に音速のスピードで伝わっていく。図 17 参照

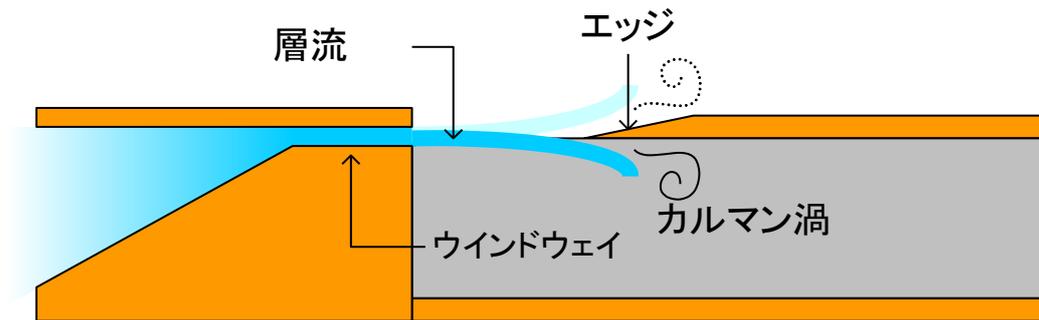


図 17 笛の原理

3. 2. 2 提案する笛の原理を利用した対空速度計

図 18 に提案した笛の原理を利用した対空速度計の構造を示す。笛の原理を利用した対空速度計は、風の吹き出し口からエッジまでの距離 X を変化させることで、共鳴周波数を変化できる。笛が鳴った周波数を ECM によって計測し、対空速度を測定する。

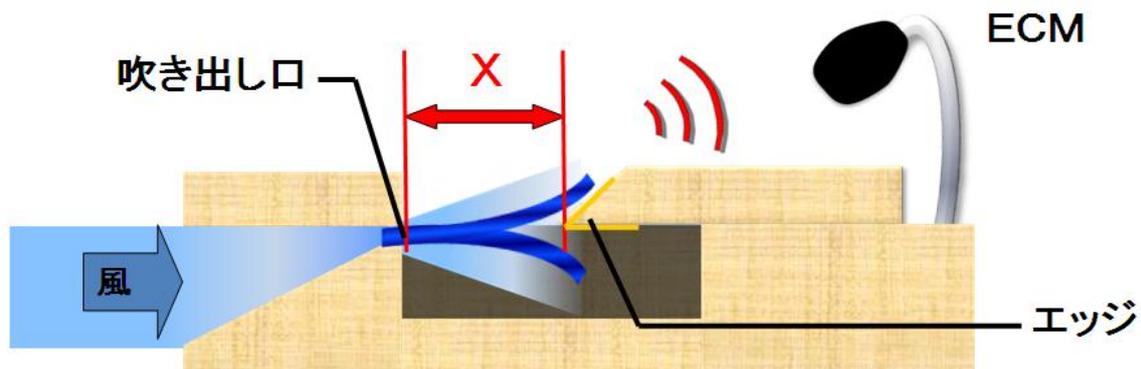


図 18 笛の原理による対空速度計

3. 2. 3 笛の原理を利用した対空速度計の性能の検証

今回提案する笛の原理を利用した対空速度計の対空速度計としての性能を検証するため、市販の笛に風を通し、なった周波数をマイクによって測定を行い、FFT 変換を行った結果を図 19 に示す。

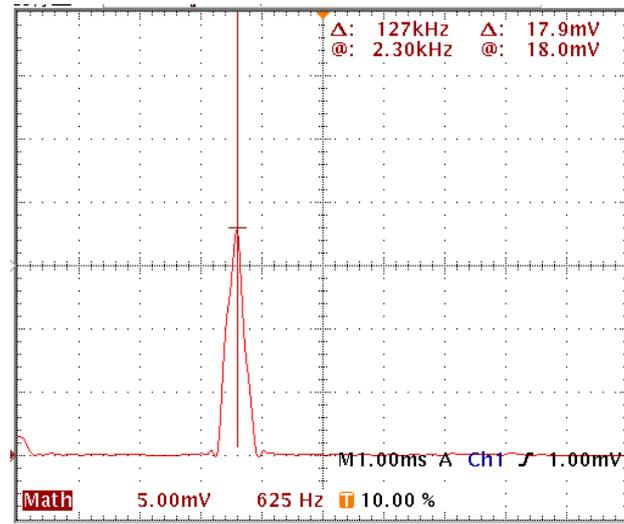


図 19 笛の周波数測定による FFT 結果

図 19 より笛を用いた方法の方が明らかに S/N 比が高く，測定に適していた。
 この結果より，対空速度計として用いる方法は笛の原理式対空速度計の方式を用いることにする。

第四章 対空速度計の作製

4. 1 設計

Solidworks 2008 SP2. 1 を使用し，笛の原理を利用した対空速度計を作製した．

4. 1. 1 Solidworks 2008 SP2. 1

Solidworks 2008 SP2. 1 とは，自動車部品の設計や金型設計に特化したパーツを 3D モデル化する Windows 完全準拠の 3 次元 CAD ソフトウェア (3D ソリッドモデラー) である．

リアルなバーチャル空間を提供し，製品の設計や強度の検証等を前倒し，設計ミスの回避，高品質な製品の開発を促進することができる．

図 20, 図 21, 図 22 に Solidworks を用いて作製した対空速度計の 3D モデルを示す．

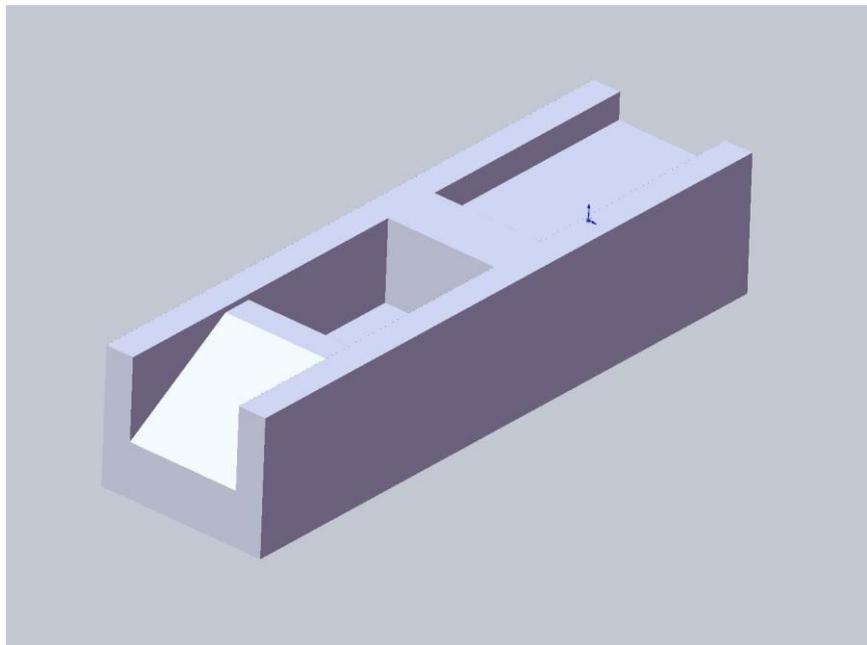


図 20 3D モデル化した対空速度計 部品 1

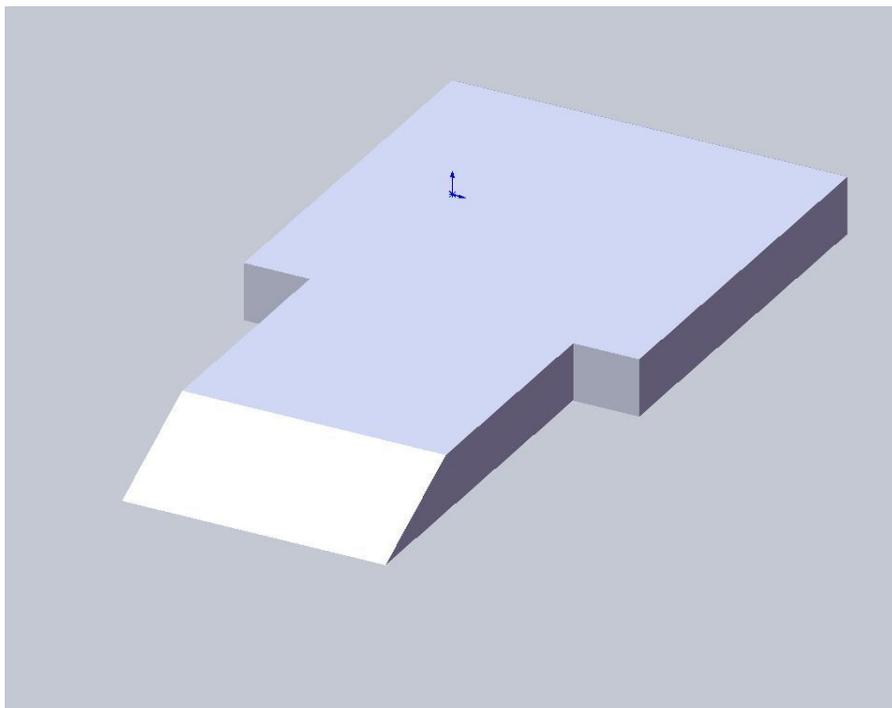


図 21 3D モデル化した対空速度計 部品 2

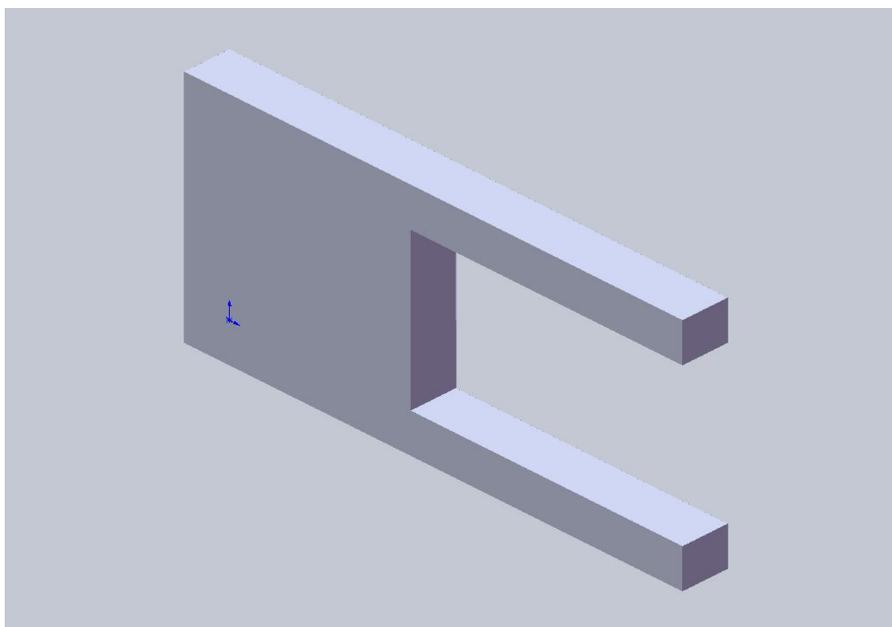


図 22 3D モデル化した対空速度計 部品 3

4. 2 切削

MDX-20 を用い、3. 1 で作成した 3D モデルを付属の加工用ソフトウェアである MODELA PLAYER 4 を使用し、切削する。

4. 2. 1 MDX-20 とは

MDX-20 とは、市販の CAD・CG ソフトに対応し、プロッタ感覚で切削加工が行えるのはもちろん、立体形状の入力機能も備えるハイブリッドマシンである。



図 23 MDX-20

4. 2. 2 MODELA PLAYER 4 とは

MODELA PLAYER 4 とは、市販の 3D CAD で作成した DXF, STL ファイルを読み込み, MDX-20 での切削加工を可能にする簡単 CAM ソフトである。

4. 3 作業工程

Solidworks 2008 SP2. 1 で作成したファイルを MODELA PLAYER 4 で利用可能な STL ファイルに変換し, 切削条件を設定する。

今回は, 素材としてケミカルウッド, エンドミルは 3mmSquare の物を用いた。
3D プレビューにて確認した後, データを MDX-20 に送って, 切削を開始する。

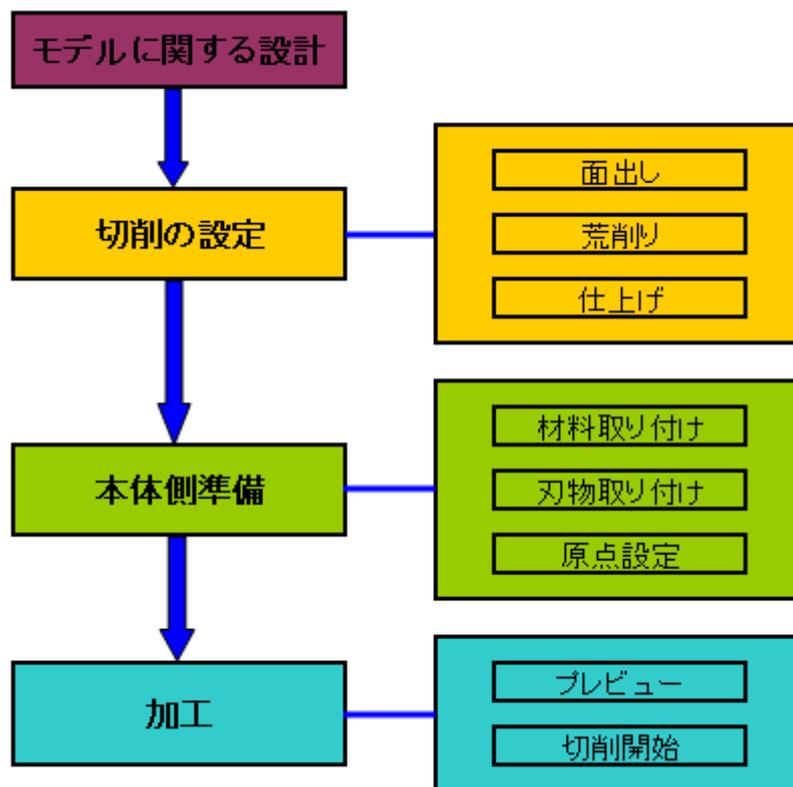


図 24 作業工程

図 25～36 は作成したツールパスと 3D プレビューである。

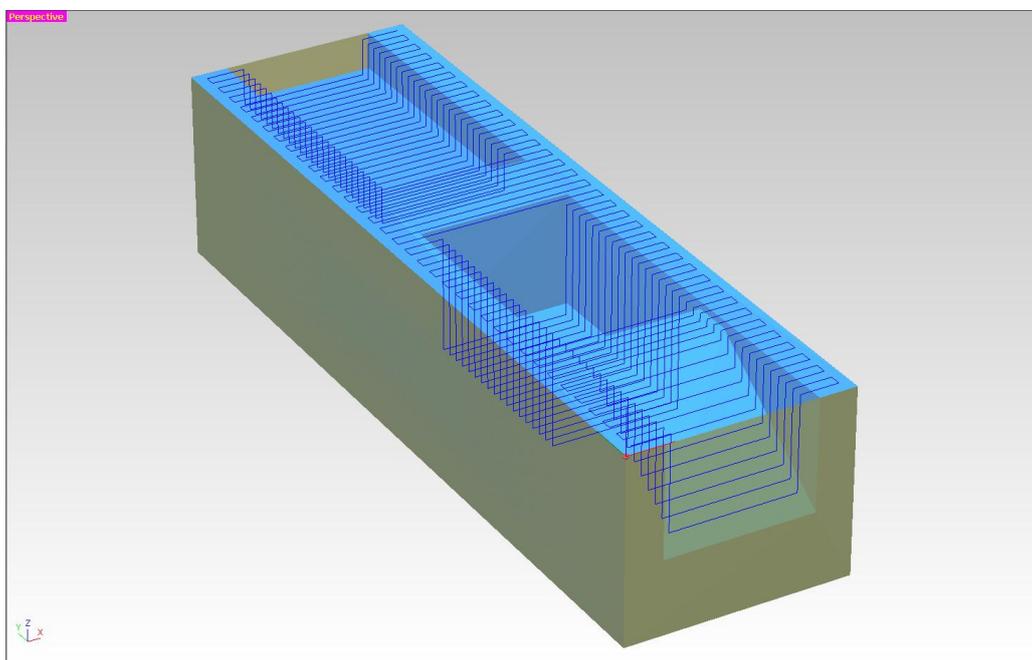


図 25 対空速度計 部品 1 (荒削りプレビュー)

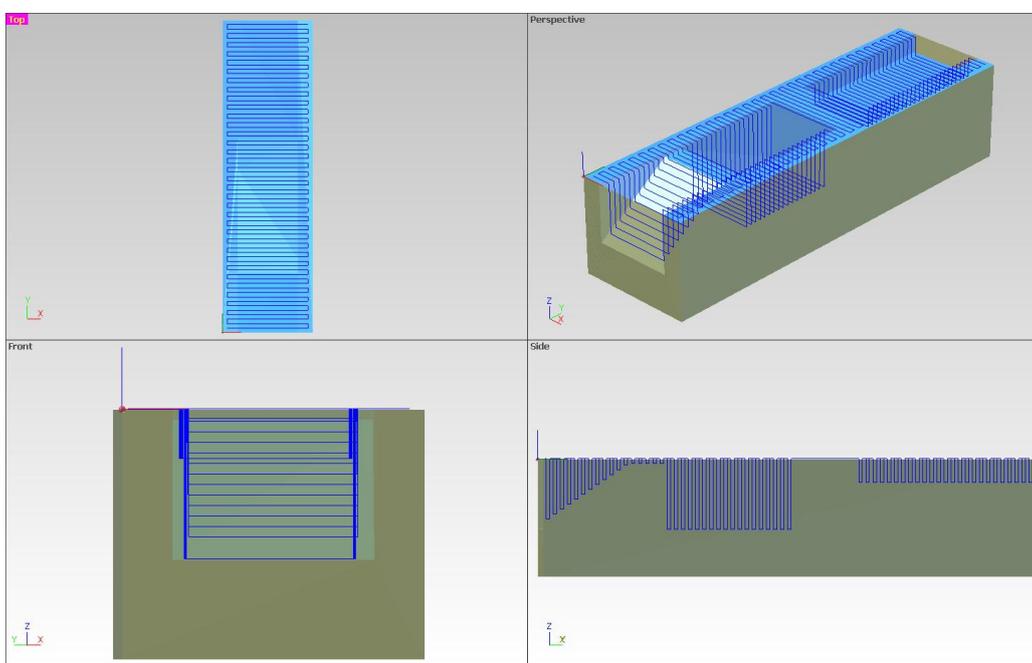


図 26 対空速度計 部品 1 (荒削り 4面プレビュー)

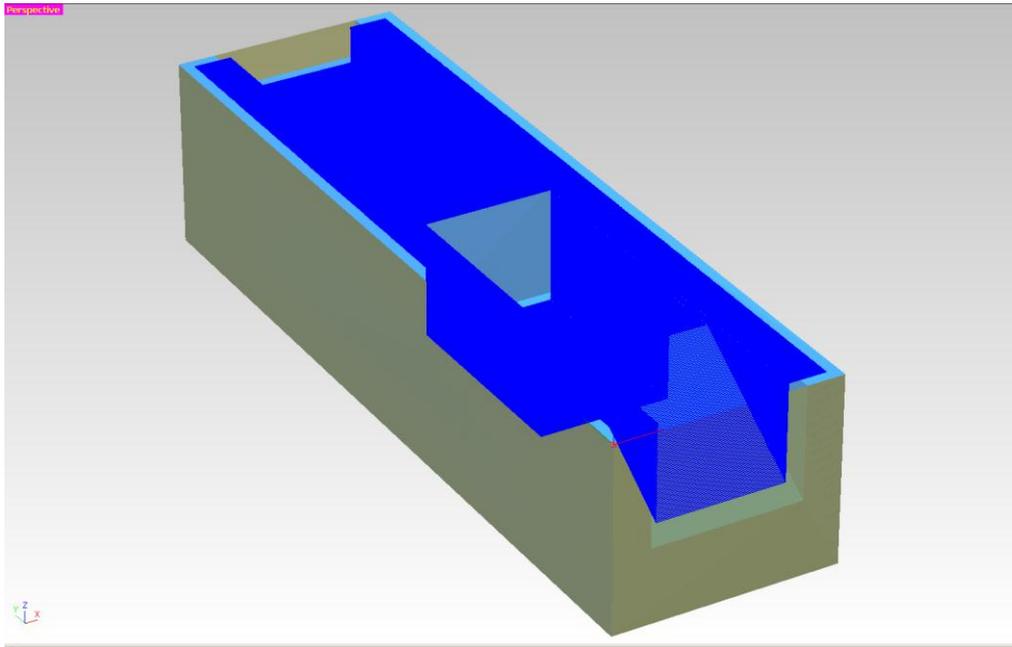


図 27 対空速度計 部品 1 (仕上げプレビュー)

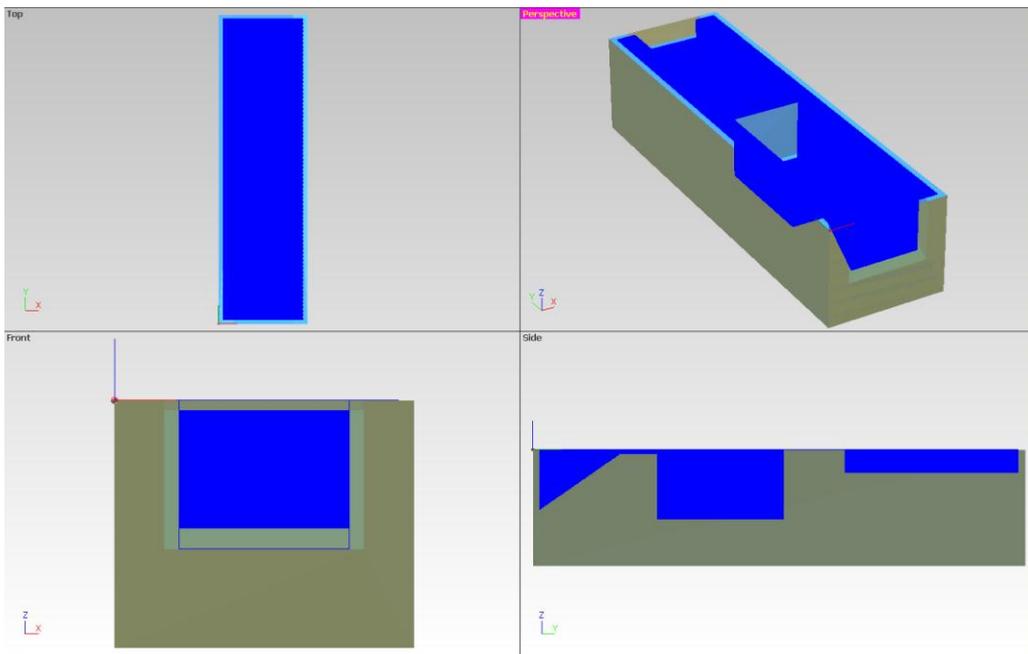


図 28 対空速度計 部品 1 (仕上げ 4面プレビュー)

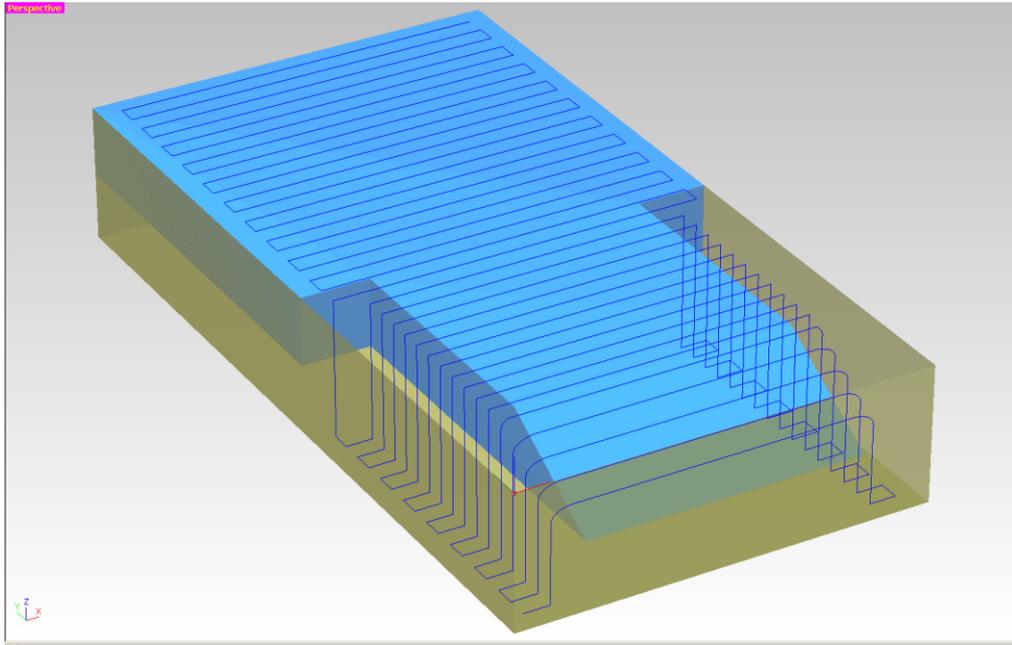


図 29 対空速度計 部品 2 (荒削りプレビュー)

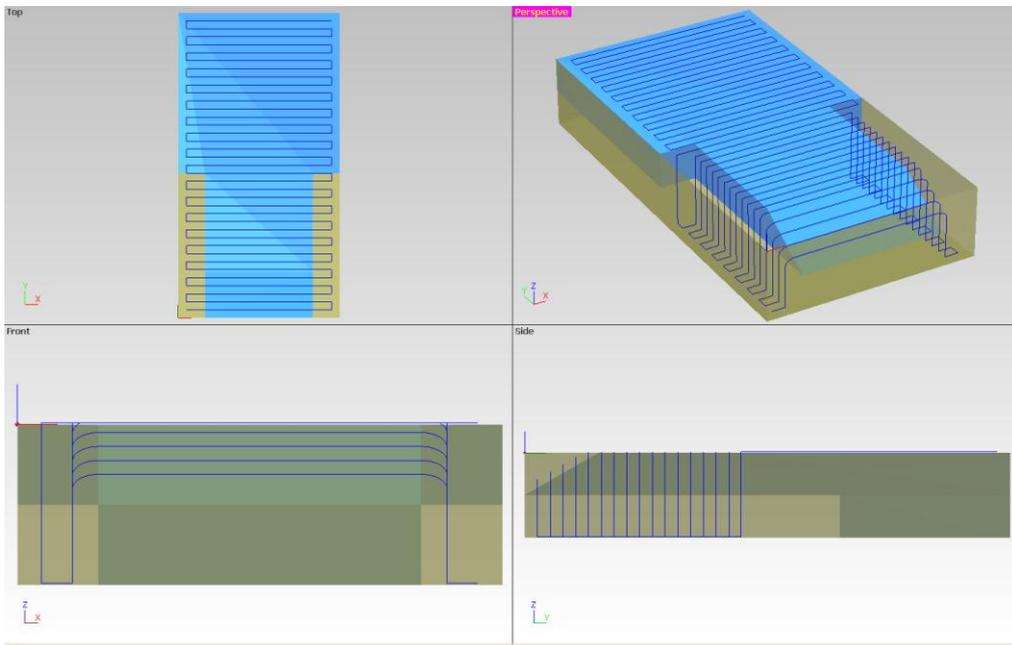


図 30 対空速度計 部品 2 (荒削り 4面プレビュー)

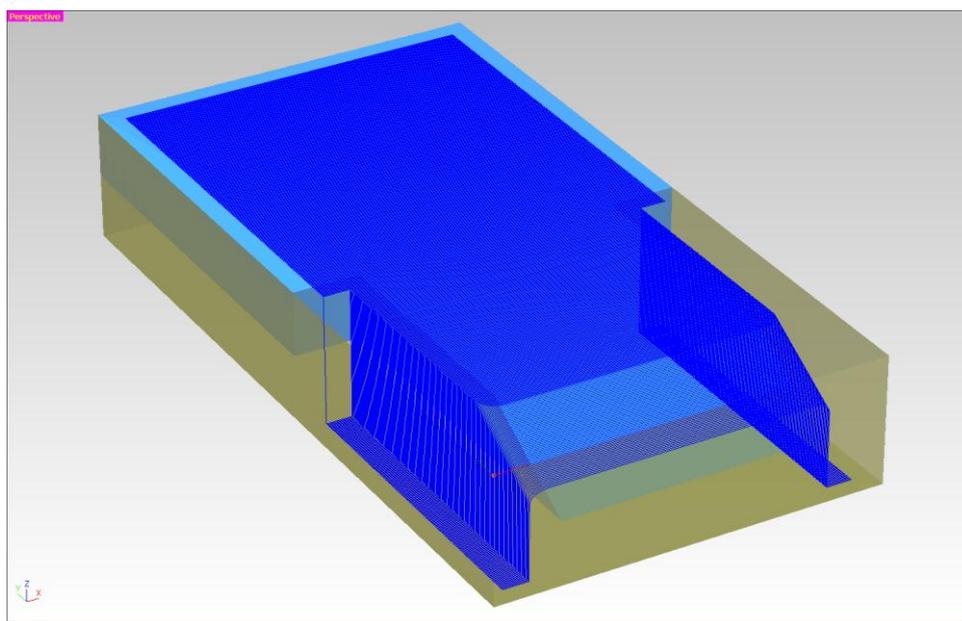


図 31 対空速度計 部品 2 (仕上げプレビュー)

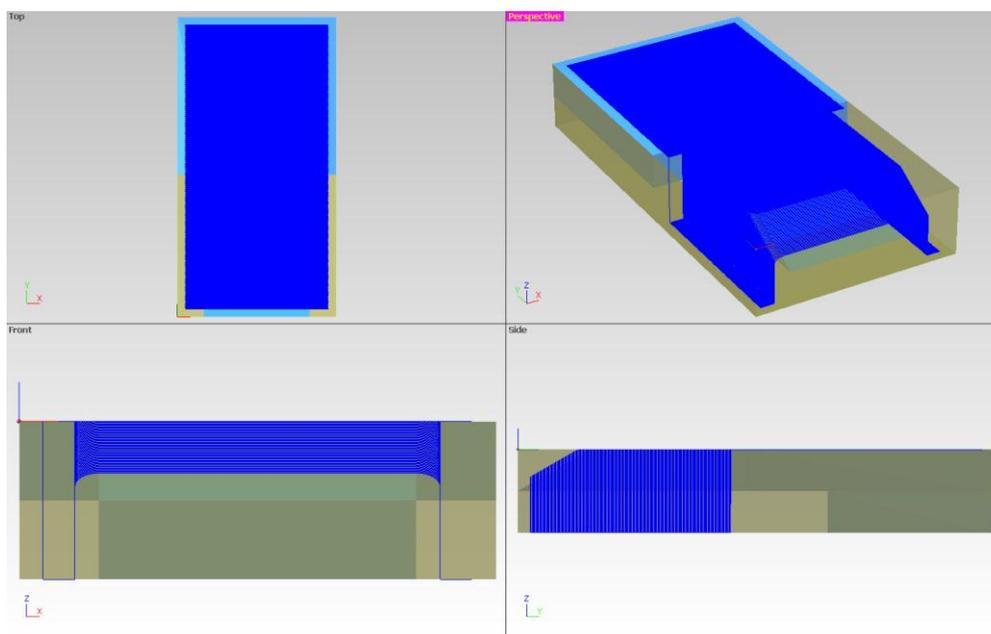


図 32 対空速度計 部品 2 (荒削り 4面プレビュー)

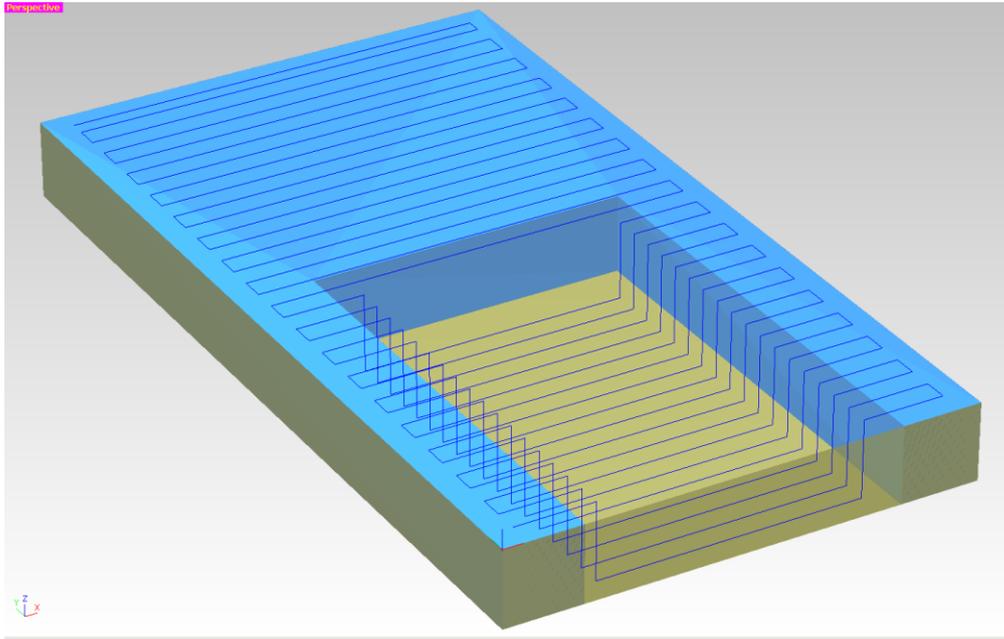


図 33 対空速度計 部品 3 (荒削りプレビュー)

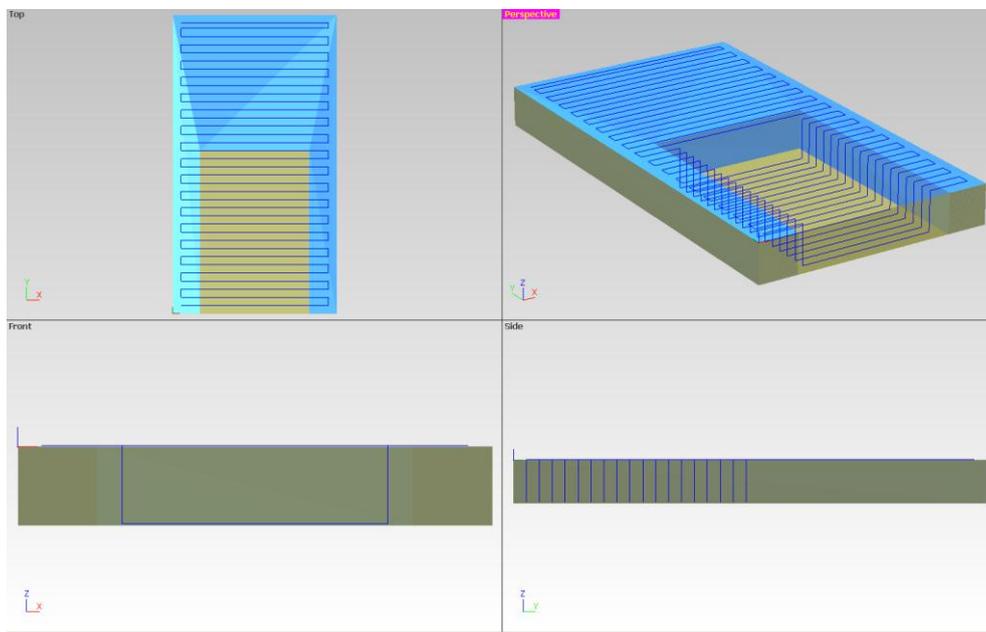


図 34 対空速度計 部品 3 (荒削り 4面プレビュー)

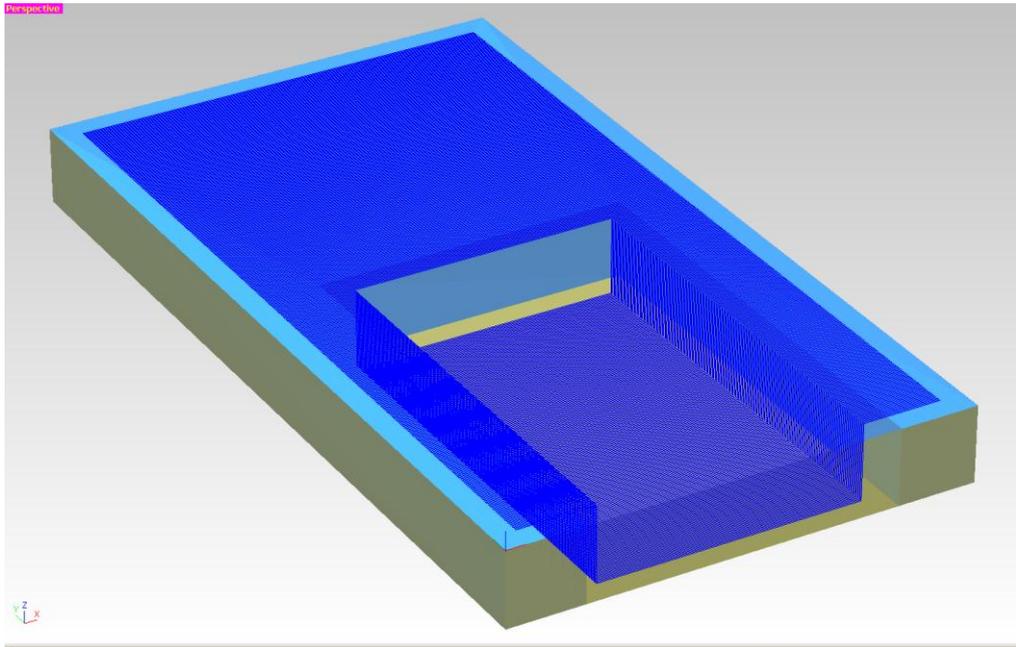


図 35 対空速度計 部品 3 (仕上げプレビュー)

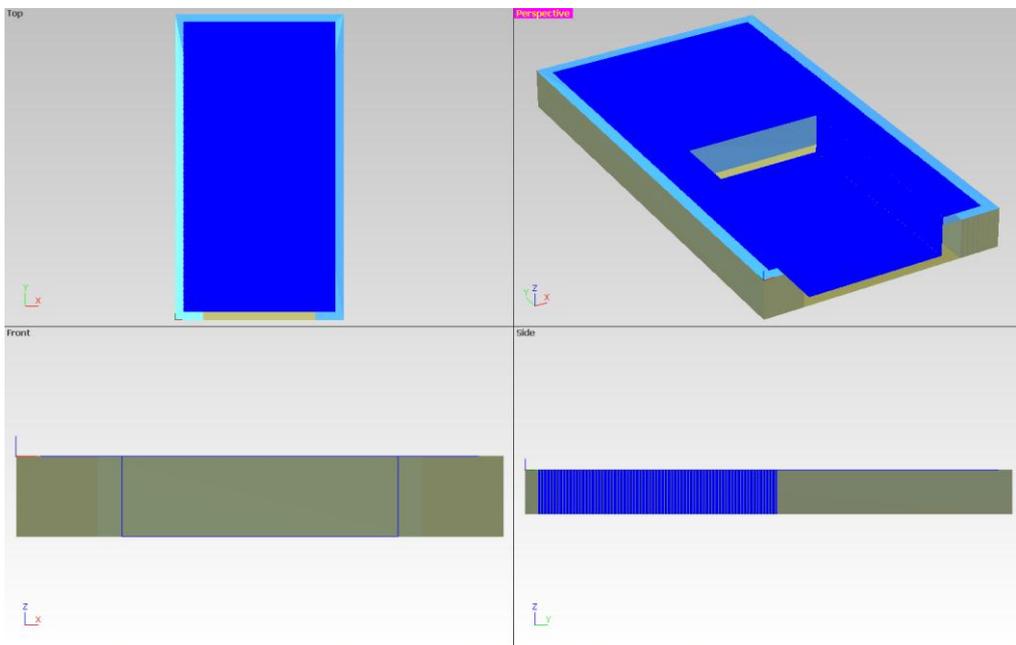


図 36 対空速度計 部品 3 (仕上げ 4面プレビュー)

4. 4 完成した対空速度計

図 37～図 40 に完成した対空速度計を示す.



図 37 作製した対空速度計 部品 1

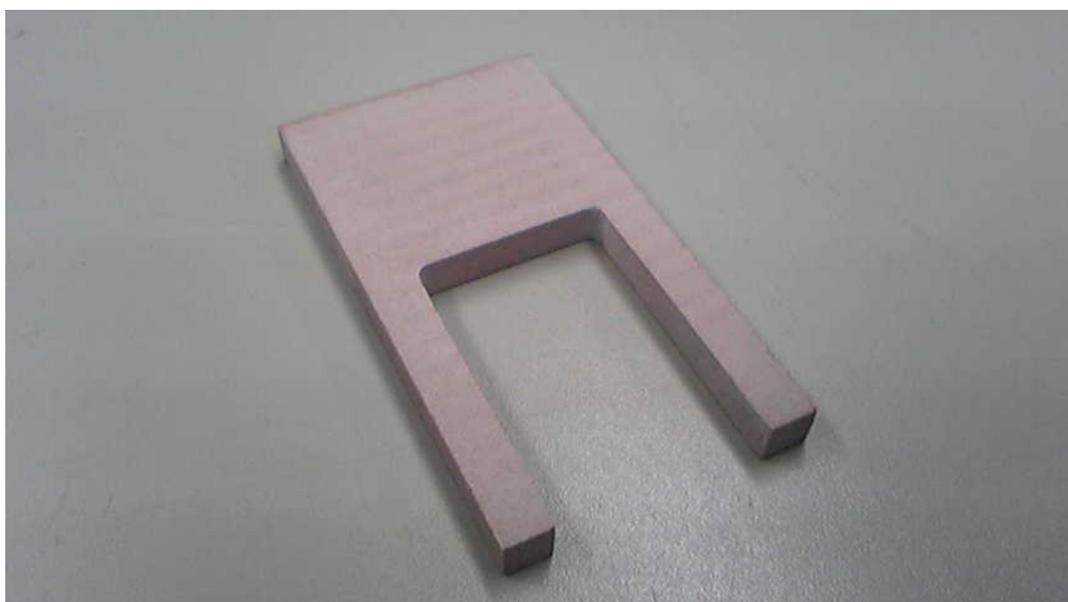


図 38 作製した対空速度計 部品 2

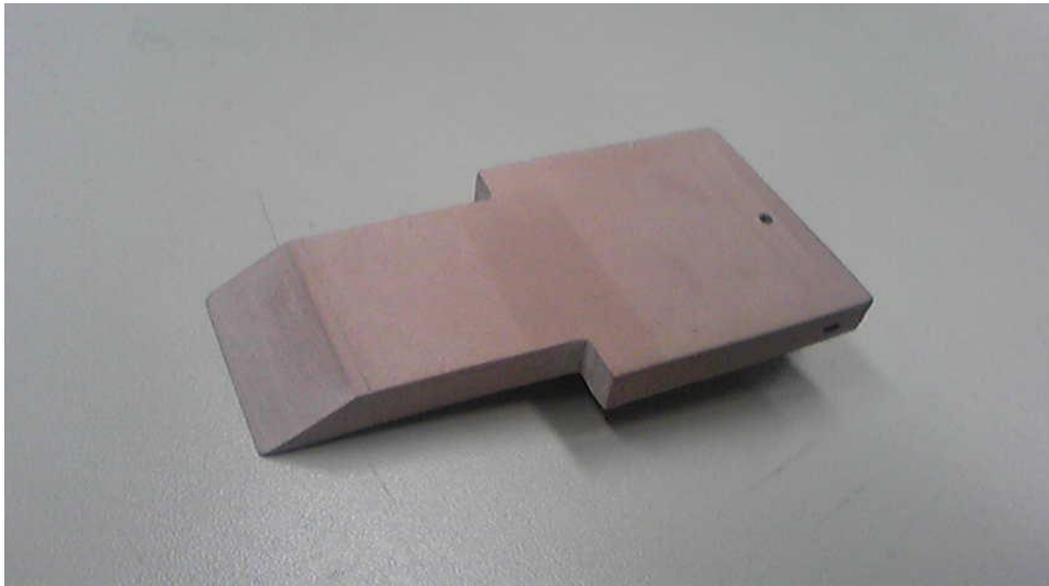


図 39 作製した対空速度計 部品 3

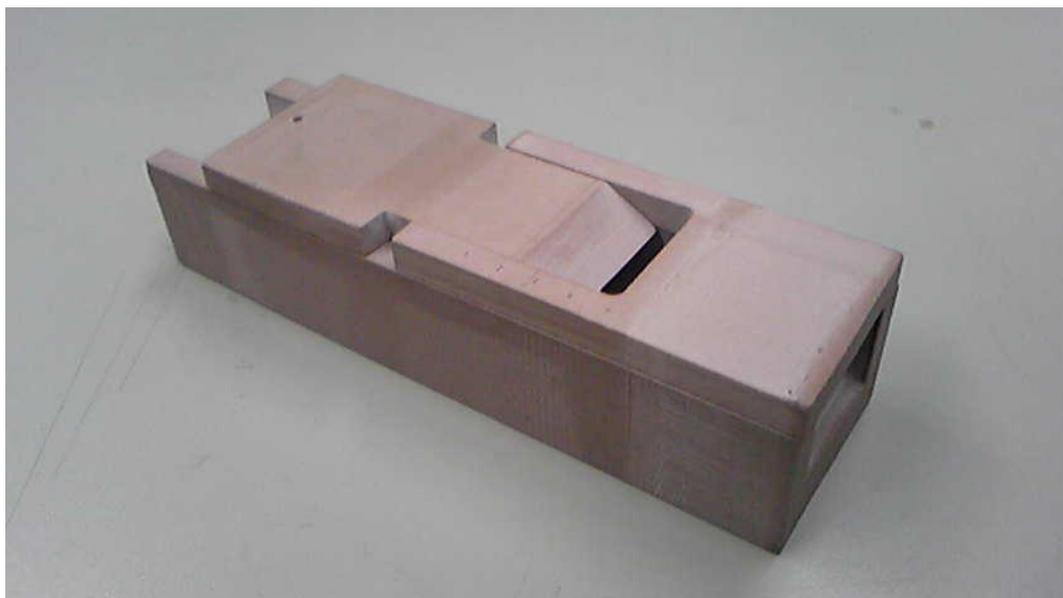


図 40 3つの部品を組み合わせた対空速度計

第五章 作製した笛の原理を利用した対空速度計を用いた実験

5. 1 作製した笛の原理を利用した対空速度計の特性実験

作製した笛の原理を利用した対空速度計の特性を調べる。ドライヤーを用いて人工的に10[km/h]~100[km/h]に相当する風速をおこす。図18に示す距離Xを1[mm]~10[mm]までそれぞれ10回ずつ計測した。表2に10[km/h]~100[km/h]の風速の1[mm]~10[mm]までの周波数特性を示す。図41に実験風景, 図42に10[km/h]~100[km/h]の1[mm]~10[mm]までの周波数特性の結果を示す。



図41 実験風景

表 2 X=1~10[mm]の時の対空速度 10~100[km/h]の周波数特性

Wind Speed[km/h] \ X[mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
30	×	○ 1379[Hz]	×	×	△ 1681[Hz]	×	×	×	×	×
40	×	○ 1536[Hz]	×	×	△ 1791[Hz]	×	×	×	×	×
50	×	×	×	△ 1488[Hz]	×	×	×	×	×	×
60	×	×	△ 1575[Hz]	○ 1542[Hz]	×	×	×	×	×	×
70	×	×	△ 1649[Hz]	○ 1582[Hz]	×	×	×	×	×	×
80	×	×	○ 1673[Hz]	○ 1657[Hz]	×	×	×	×	×	×
90	×	×	○ 1662[Hz]	○ 1658[Hz]	×	×	×	×	×	×
100	×	×	×	○ 1668[Hz]	×	×	×	×	×	×

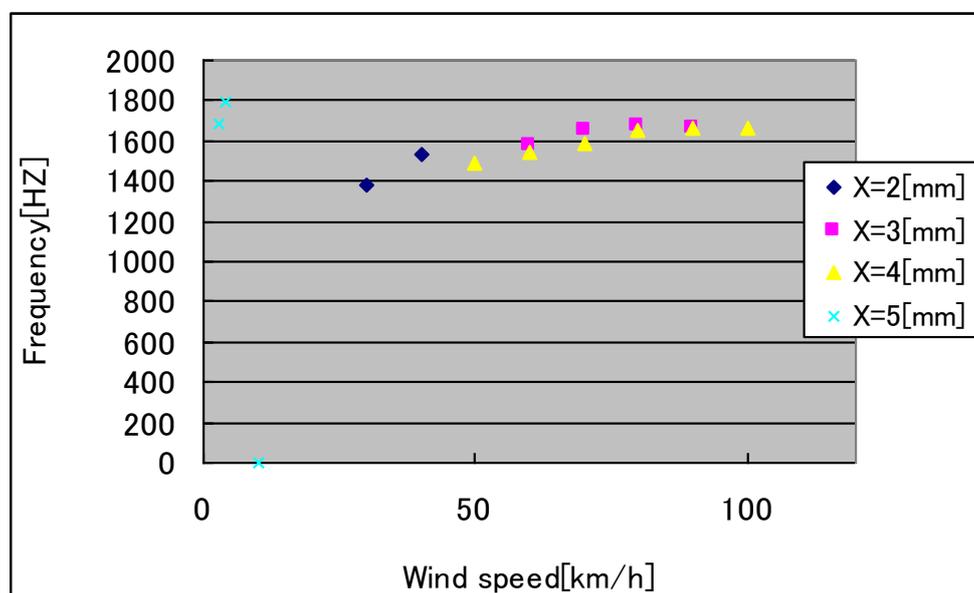


図 42 X=1~10[mm]の時の対空速度 10~100[km/h]の周波数特性

表 2 により、X=2[mm],3[mm],4[mm],5[mm]の場合は、笛の音がよく鳴り、より周波数を測定できた。また、対空速度がはやくなるにつれ周波数の値も大きくなっている。図 43, 図 44, 図 45, 図 46 に X=2~5[mm]の時の 10[km/h]~100[km/h]の周波数特性を示す。

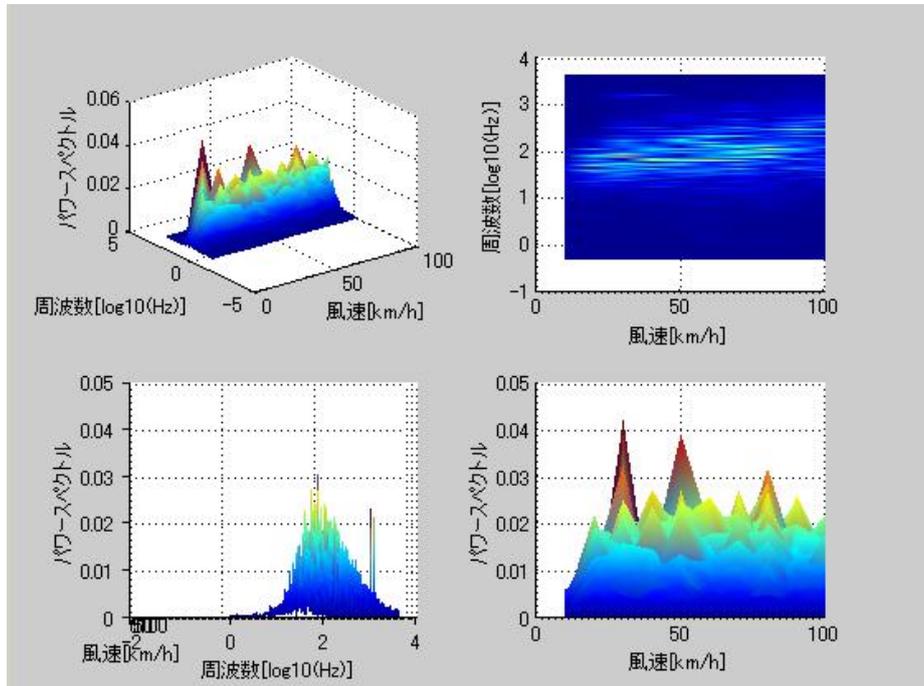


図 43 X=2[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

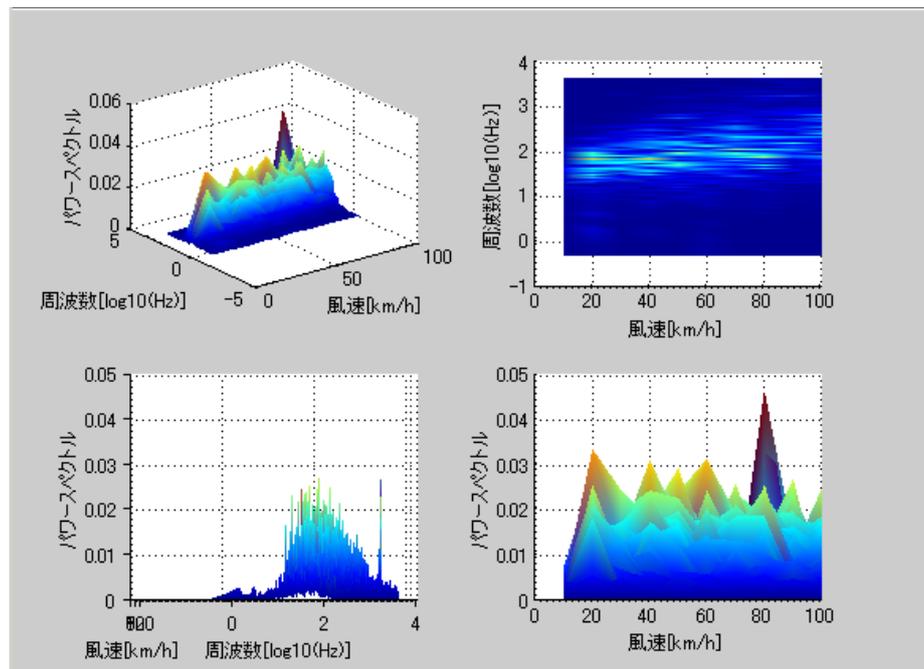


図 44 X=3[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

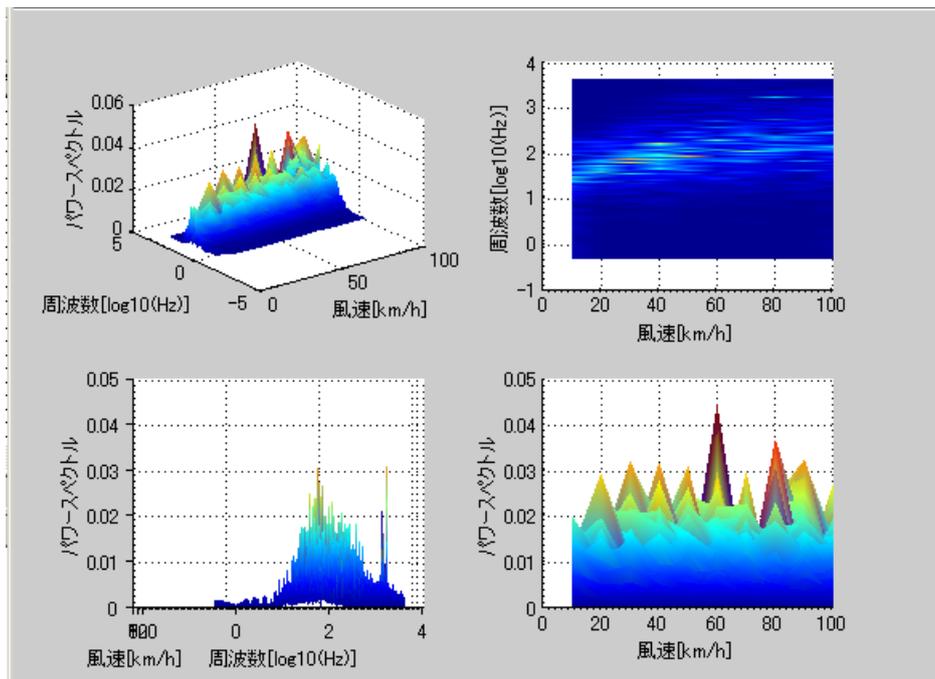


図 45 X=4[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

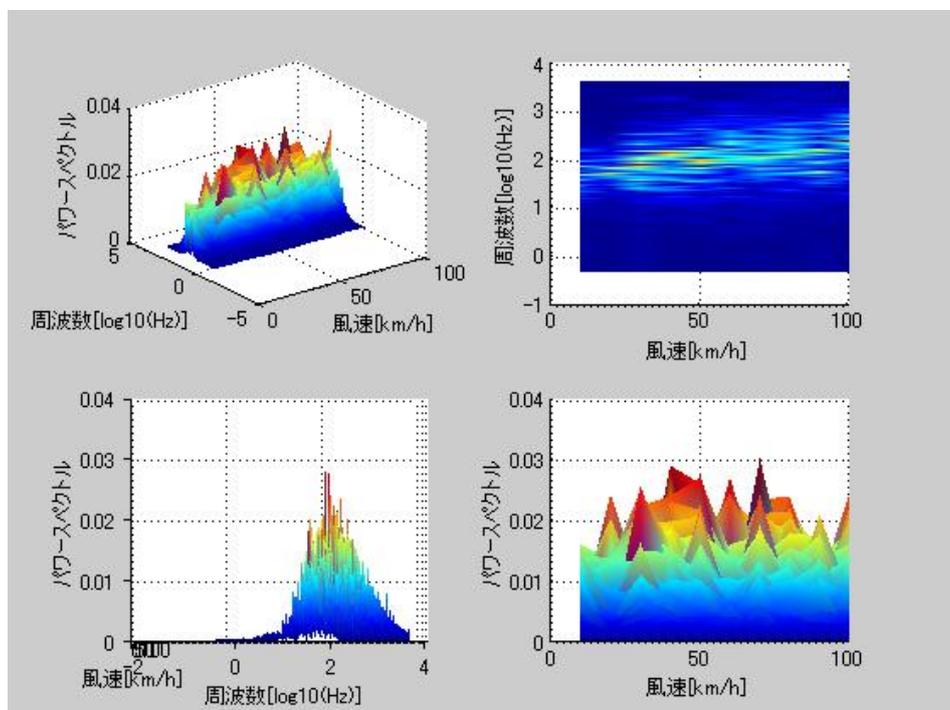


図 46 X=3[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

5. 2 風の吹き出し口とエッジの距離を固定した笛の原理を利用した対空速度計の周波数特性

今回製作した笛の原理式対空速度計は、70[km/h]を過ぎてから風圧によりエッジが動いてしまった。これより風の吹き出し口とエッジの距離を固定した方が、より信頼性のある笛の原理式対空速度計になる。そこで、風の吹き出し口とエッジの距離を固定した笛の原理式対空速度計を製作する。

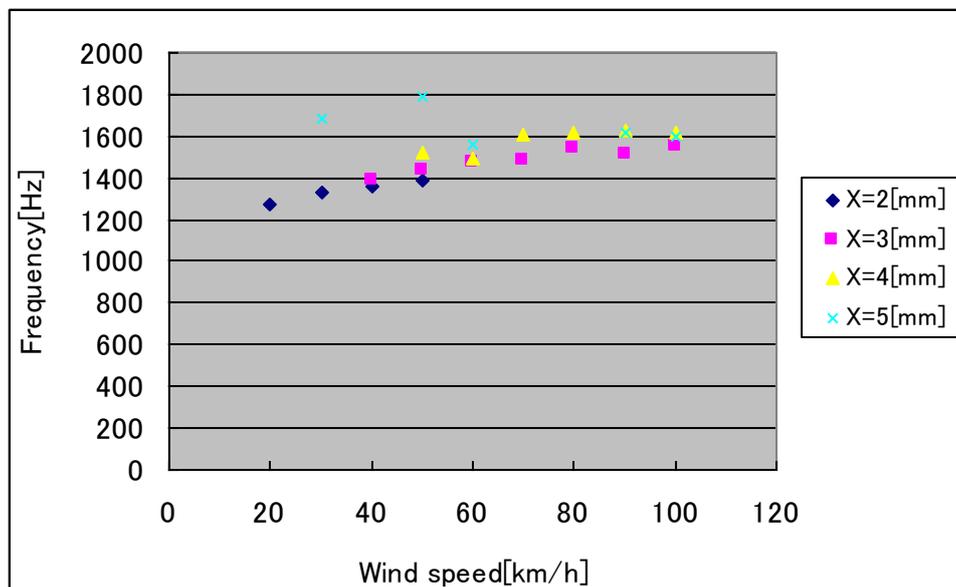
表 2 の結果より、エッジとの距離 $X=2\sim 5$ [mm]にそれぞれ固定した笛の原理式対空速度計を 4 つ製作した。ドライヤーで人口的に 10~100[km/h]に相当する風速をおこし計測した。

表 3 に 10~100[km/h]の風速の 1[mm]~10[mm]まで周波数特性を示す。図 47 に、エッジの距離を固定した笛の原理式対空速度計の周波数特性を示す。

表 3 $X=2\sim 10$ [mm]の時の対空速度 10~100[km/h]の周波数特性

Wind Speed[km/h] \ X[mm]	2	3	4	5
10	×	×	×	×
20	○ 1277[Hz]	×	×	×
30	○ 1329[Hz]	×	×	○ 1681[Hz]
40	○ 1363[Hz]	○ 1388[Hz]	×	×
50	○ 1385[Hz]	○ 1434[Hz]	○ 1523[Hz]	△ 1786[Hz]
60	×	○ 1469[Hz]	△ [1495Hz]	△ 1562[Hz]
70	×	○ 1487[Hz]	○ 1608[Hz]	×
80	×	○ 1538[Hz]	○ 1613[Hz]	×
90	×	△ 1513[Hz]	○ 1625[Hz]	○ 1614[Hz]
100	×	△ 1551[Hz]	○ 1619[Hz]	○ 1599[Hz]

図 47 2~10[mm]の時の対空速度 10~100[km/h]の周波数特性



風の吹き出し口とエッジの距離を固定することで、より広い範囲の速度を測ることができた。また、笛の音の強さも上がり、結果の信頼性があげることができた。図 48, 図 49 図 50, 図 51 に X=2~5[mm]の時の 10[km/h]~100[km/h]の周波数特性を示す。

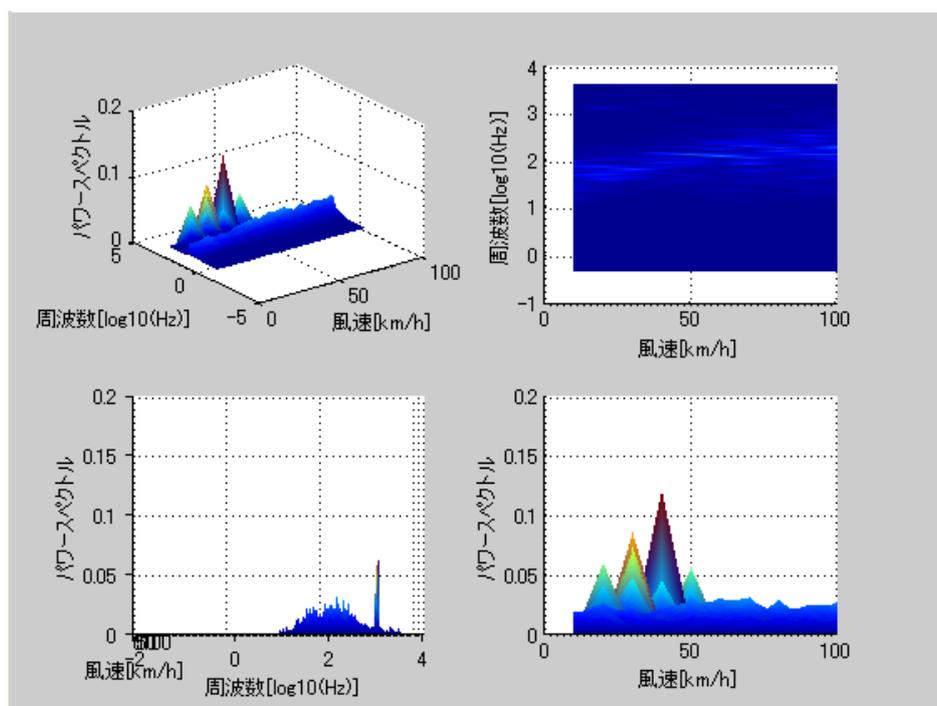


図 48 X=3[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

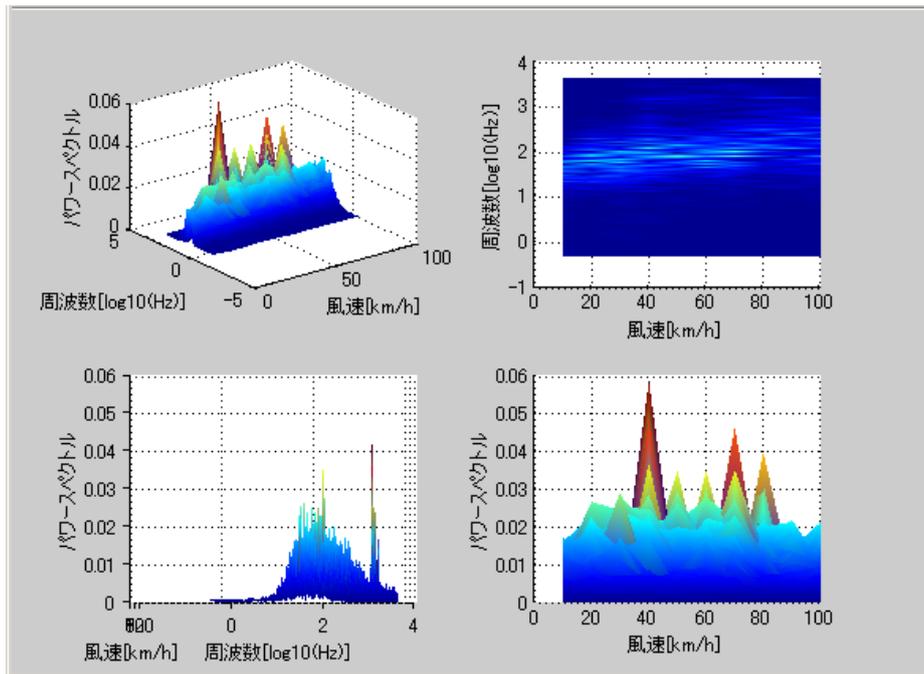


図 49 X=3[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

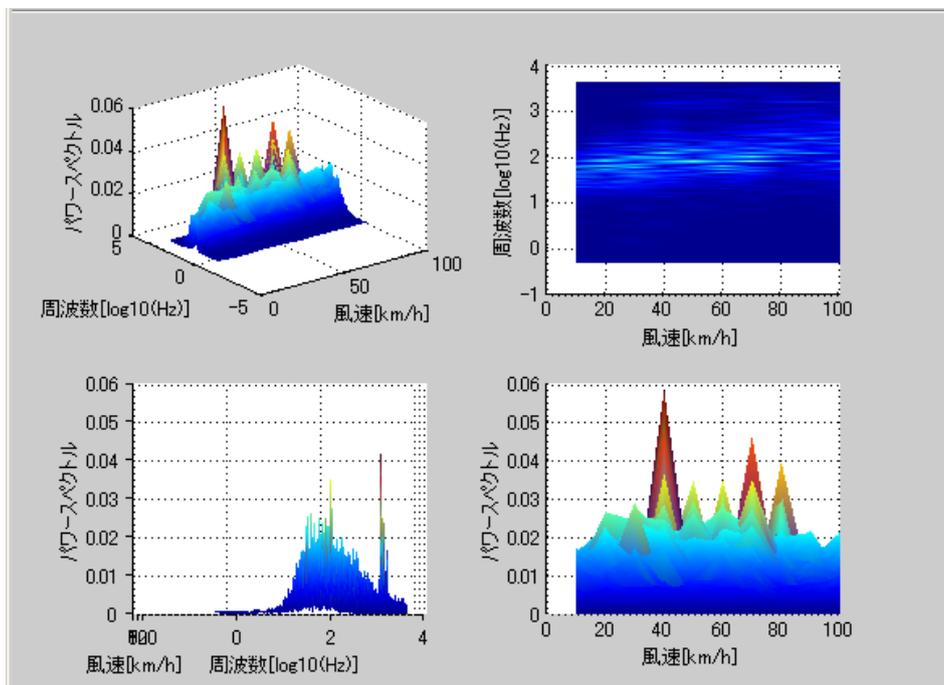


図 50 X=4[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

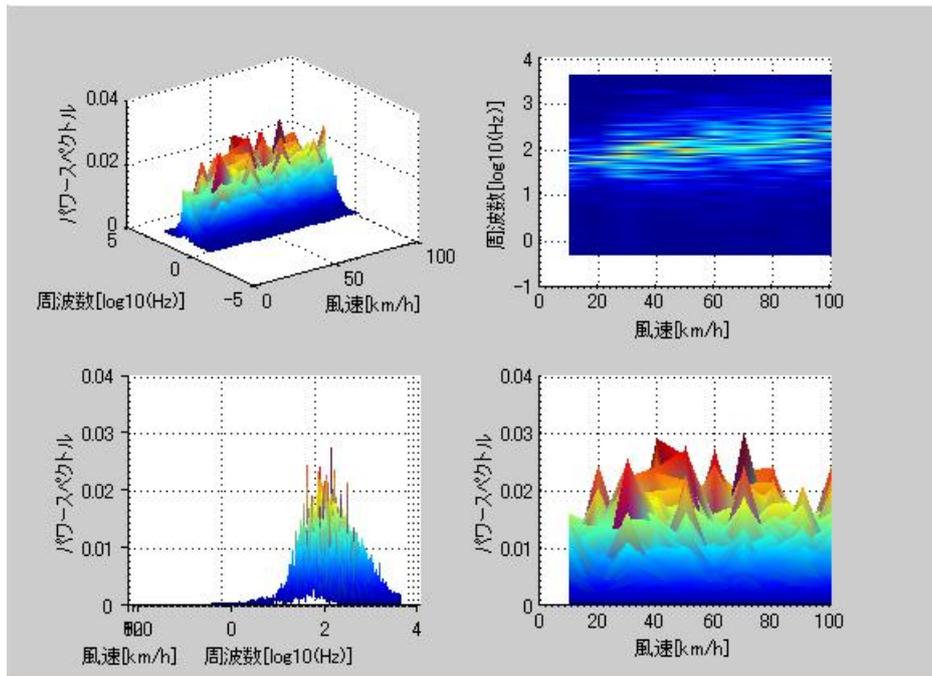


図 51 X=5[mm], 10~100[km/h]のときの周波数測定結果

5. 3 考察

図 42, 図 47 より, 笛の原理式対空速度計の周波数は, 対空速度が大きくなるにつれ上昇していることがわかった。

笛の原理式対空速度計が, 風の吹き出し口とエッジの距離を可変できるものから固定することで, 笛の音の強さを上げることができ, 結果の信頼性を上げることができた。

笛の原理式対空速度計は, 対空速度が上がるほど, 風圧のノイズが測定に影響するため, ハイパスフィルターを通しノイズをカットする対策などをする必要がある。

第六章 結論

本研究では車が受ける空気抵抗に着目し，対空速度を計るために（1）カルマン渦を用いた方法，（2）笛の原理を利用した方法の 2 つの方法を検討し，対空速度計として実現する研究を進めてきた．

その結果，笛の原理を利用した方法で作製した対空速度計の周波数は，対空速度が大きくなるにつれ上昇していることがわかった．この実験結果より，この「笛の原理による対空速度計」は対空速度を計る計測器としての機能を十分に果たすことができると証明した．

謝辞

研究を進めるにあたり，適切な助言をしていただいた小林一行教授，渡辺嘉二郎教授に深く感謝いたします。

また共に修了を迎える修士2年の学友の皆様，日頃から支えてくれてありがとうございました。

最後に，私をここまで育て，影ながらサポートして頂いた両親に心より深く感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

- 1) [1] A. Oshima, “A study of new flow measurements method by applying Karman vortex streets using air pressure sensor,” Master’s Thesis, Hosei University, 2005
- 2) [2] H. Sato and K. Watanabe, “Experimental Study on the Use of a Vortex Whistle as a Flow Meter,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 49, No. 1, Feb. 2000, pp. 200–205
- 3) [3] G.L. Pankanin, “Experimental and Theoretical Investigations Concerning the Influence of Stagnation Region on Karman Vortex Shedding,” Proceedings of the IEEE Conference on Instrumentation and Measurement Technology, 1–3 May 2007, pp. 1–6
- 4) [4] S. Takahashi, “Fundamental study of low fuel consumption control scheme based on combination of direct fuel injection engine and continuously variable transmission,” Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision & Control, Tampa, Florida USA, Vol. 2, 16–18 Dec. 1998, pp. 1522–1529
- 5) [5] W. Kleinhempel, “Automobile Doppler Speedometer,” Proceedings of the IEEE-IEE Conference on Vehicle Navigation and Information Systems, 12–15 Oct. 1993, pp. 509–512
- 6) なるほど楽器解体全書
<http://www2.yamaha.co.jp/u/naruhodo/01recorder/recorder1.html>
- 7) 大島明浩：空気圧センサによるカルマン渦の検出と流量計測，法政大学大学院システム工学専攻，2007年度修士論文
- 8) 中村健太郎：音のしくみ
- 9) 石綿良三：流体力学
- 10) 牛山直樹：よくわかる3次元CADシステム SolidWorks 入門

付録

今回実験で周波数を測定するにあたり，MATLAB を用いて FFT 変換を行った．
その際使用したプログラムを示す．

```
close all
tic
Fs=8000;
N=2^14;
analog_in0=wavrecord(N, Fs, 1);
N=3;
[B, A] = BUTTER(N, 0.2, 'high');
[h, w] = freqz(B, A);

%%%%%%%%%フィルター通過
analog_in = filter2(B, analog_in0);

%[analog_in] = contec_ad(1/50000, 16000, 1);
%WAVRECORD(N, FS, CH)
toc
plot(analog_in)
% analog_in=wavrecord(N, Fs, 1);

%[analog_in] = contec_ad(1/50000, 5000, 1);
toc
analog_in=analog_in-mean(analog_in);

fftaxis=((1:length(analog_in))-1)/length(analog_in)*Fs;
fftdata=abs(fft(analog_in))/(length(fftaxis)/2);
[val, ind]=max(fftdata(1:end/2));
plot1=plot(fftaxis(1:end/2), fftdata(1:end/2), fftaxis(ind), fftdata(ind), 'rp');
text1=text(100+fftaxis(ind), fftdata(ind), num2str(fftaxis(ind)));
title1=title([fftaxis(ind), fftdata(ind)]);
ylim([0, 0.05]);
ui1=icontrol('callback', 'animation=0;', 'string', 'STOP');
drawnow;
animation=1;
```

```

while(animation)
analog_in0=wavrecord(N, Fs, 1);
N=3;
[B, A] = BUTTER(N, 0.2, 'high');
[h, w] = freqz(B, A);

%%%%%%%%%フィルター通過
analog_in = filter2(B, analog_in0);

%[analog_in] = contec_ad(1/50000, 5000, 1);
toc
analog_in=analog_in-mean(analog_in);
fftaxis=(1:length(analog_in)-1)/length(analog_in)*Fs;
fftdata=abs(fft(analog_in))/(length(fftaxis)/2);
[val, ind]=max(fftdata(1:end/2));
set(plot1(1), 'xdata', fftaxis(1:end/2), 'ydata', fftdata(1:end/2));
set(plot1(2), 'xdata', fftaxis(ind), 'ydata', fftdata(ind));
set(text1, 'position', [100+fftaxis(ind), fftdata(ind), 0], 'string', num2str(fftaxis(ind))
);
set(title1, 'string', [fftaxis(ind), fftdata(ind)]);
ylim([0, 0.05]);
drawnow;
end
ui1=uicontrol('callback', 'animation=1:testadmic2', 'string', 'START');

```