

ゴルフボールのディンプルにヒントを得て プロペラを考える

南山中学校男子部 3年 田淵宏太郎

参考文献：流体力学 シンプルにすれば「流れ」がわかる 実教出版
とことんやさしい風力発電の本 日刊工業新聞社
図解によるわかりやすい流体力学 森北出版株式会社

参考HP:株式会社MECARO HP <http://www.mecaro.jp/index.html>
工学系学部へ行こう！おもしろ科学実験室HP <http://mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/130109.php>

■研究の動機

将来宇宙関係の仕事に就きたいと考えている僕にとって、ロケットや飛行機の空気抵抗は、大きな関心事のひとつである。そして、空気抵抗という面ですっと気になっていたのが、ゴルフボールに付いているディンプルだった。ゴルフは、球技の中でもっとも遠くにボールを飛ばすスポーツ。そのゴルフボールに付いているディンプルの働きを学ぶことで空気の流れを知ることができるのではないかと考えた。

昨年まで4年間バイオエタノールの研究をしてきた僕にとって、物理分野の研究はまったく新しい挑戦になる。新しい取り組みを楽しみたいと思う。

■研究の目的

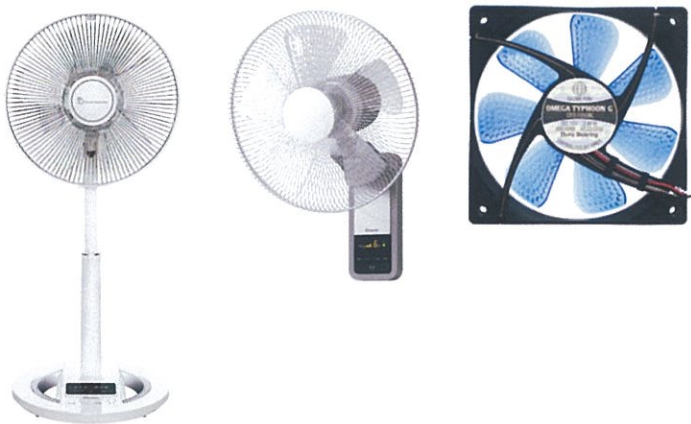
プロペラには、空気を吸い込む、空気を放出する、空気をかきまぜるなど、さまざまな役割がある。今回の研究では扇風機の役割に的を絞り「空気を放出する」という点に重点を置く。

扇風機の下流に、より強い空気を送る、あるいはより広範囲に風を送るために、プロペラの表面にどのような工夫をすれば良いのかを、ディンプルの役割を手本にしながら考え、導き出していきたい。

■調査

研究を始めるにあたり、ディンプルの働きを応用したプロペラが活用されているかどうか、そのプロペラにどのような効果があるのかを調べてみた。

例1:ディンプル羽根扇風機

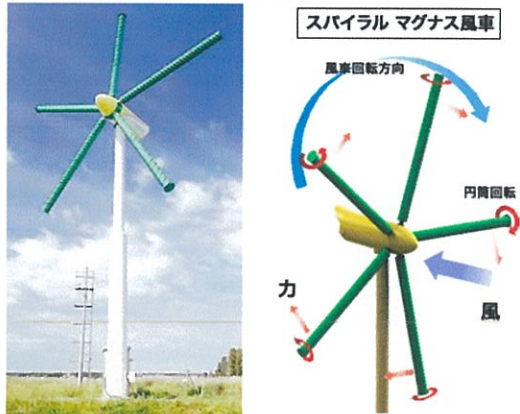


●写真左
KJ リビング扇風機 タッチストップ機能搭載
リモコン付 30cm ASディンプル(5枚) EF-TS30R(S)

●写真中
華芝ジャパン 壁掛フルリモコン式扇風機
壁掛け扇風機 30cm 5枚羽根EF-W34R(W)
商品説明に「羽根にディンプル加工を施すことにより、空気の抵抗を軽減(ゴルフボールと同じ原理)。これにより、自社商品での比較で約20%程度静音化」とある。

●写真右
Ainex 「Omega Typhoon G LED 120mm
究極静音タイプ」
商品説明に「無数の六角形(ヘキサゴン)ディンプル(窪み)が空気抵抗を減らし風の剥離を抑える」とある。

例2:風力発電の風車



●写真上
スパイラルマグナス風車
世界で唯一マグナス効果を採用した風車。羽根が円柱構造でかつ低回転のため、騒音レベルは、風の音(暗騒音)にまぎれるほど静かであるとされる。

※ディンプルではないが、スパイラル付き円柱をプロペラの代わりとすることで騒音を低減した風車である。

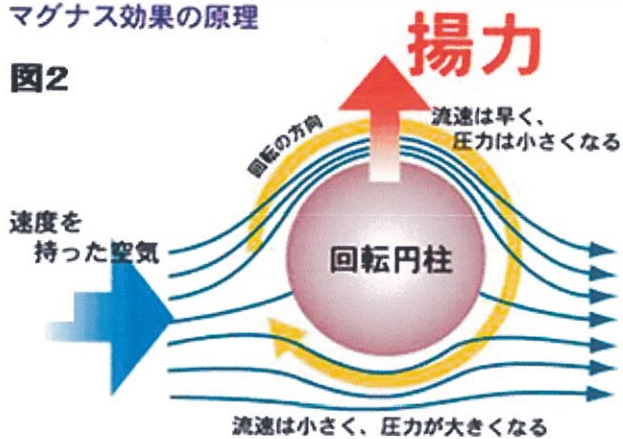
マグナス効果とは

ドイツのマグナス博士による理論
回転+流れ→圧力差→揚力

回転している物体が風を受けると、回転している方向と同一面では速度が早く圧力が小さくなり、逆の面では速度は遅く圧力が大きくなる。これにより、物体が移動する揚力が生じる効果。

マグナス効果の原理

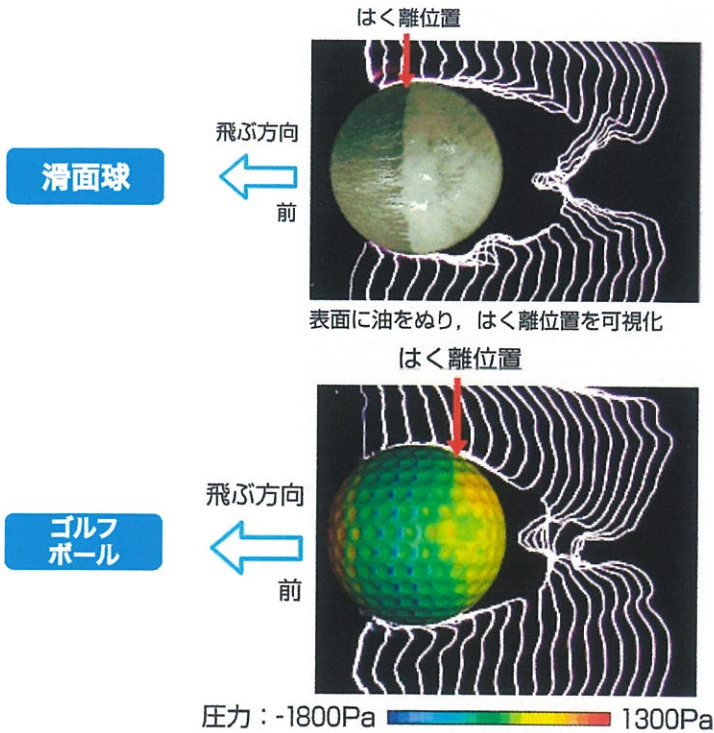
図2



マグナス効果は、回転する物体が風を受けた時に生じる効果であり、ディンプルの効果とは異なることが見えてきた。

仮説①：ゴルフボールが遠くに飛ぶのは、ディンプルの働きによるものではないか。

下の写真は、特殊な方法で、表面が滑らかなボールとディンプルが付いたボールの空気の流れを撮影したもの。これによると、ゴルフボールは空気のはく離が遅れている様子が見える。



ゴルフボールは、ディンプルによってボール表面の空気の流れが乱れ、はく離しにくくなることから、圧力抗力を低減することができることがわかってきた。

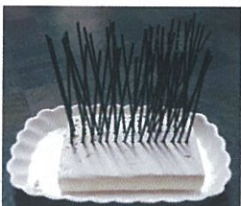
ゴルフボールはディンプルによって抵抗が小さくなり、遠くへ飛ぶ。

■実験①

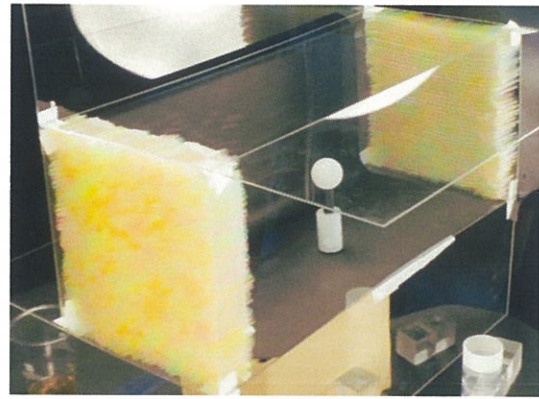
ディンプルによって本当に空気のはく離が遅れるのか、自分で確かめてみた。

実験手順-1 簡易風洞の作成

- ①アクリル板4枚を組み合わせ、250×600mmの閉鎖空間＝簡易風洞をつくる。
- ②ストロー900本を4cm長さにカットし、250×250mmの蜂の巣状に組み合わせる。
- ③風洞の入り口と出口にストローをセットし、出口には扇風機を後ろ向きに置いて風の流れをつくる。
- ④入り口の手前で30本の線香を焚き、煙を風洞に取り込んで流れを観測する。



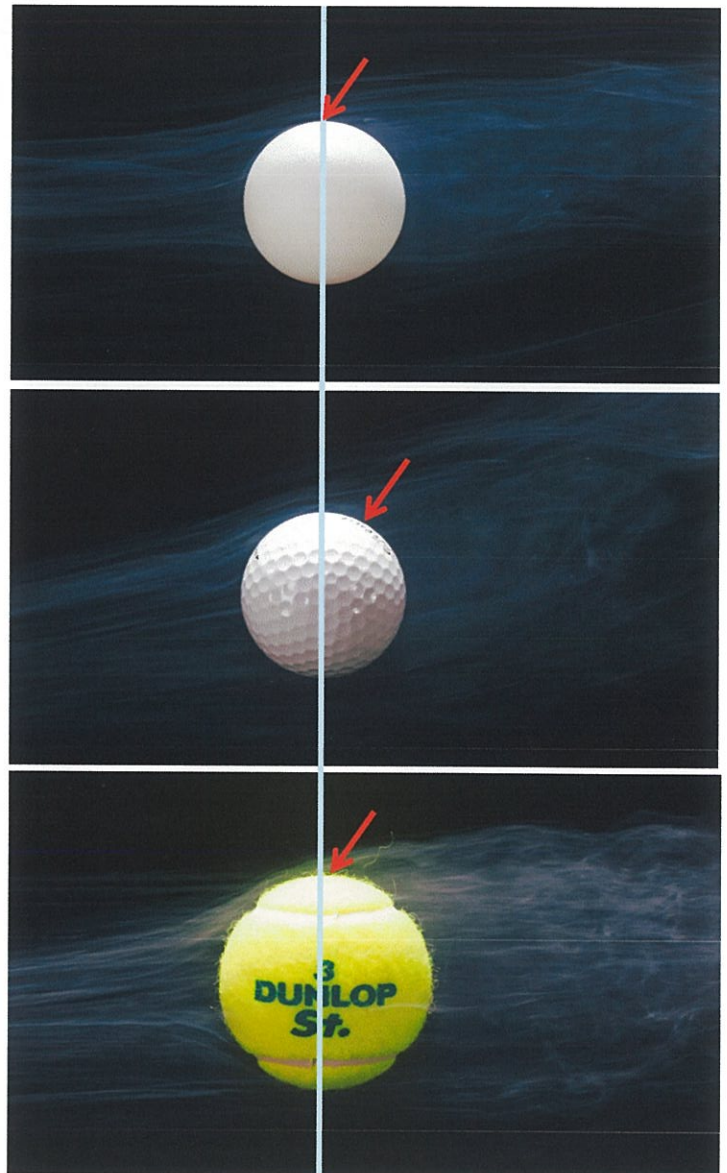
左：線香は紙粘土にセット
右：ストロー1700本で作ったハニカム



左：自作の簡易風洞

実験手順-2 ポールの撮影

ゴルフボール、ピンポン球などに煙を当てて撮影し、空気の流れを観察。ディンプルがあることによって、空気の流れがどう変わるのかを調べる。



■実験①の結果

ゴルフボールは、煙が当たった場所から頂上の先まで煙が張り付いており、空気のはく離する位置が他のボールよりも後ろであることが確認できた。ゴルフボールが遠くへ飛ぶのに、ディンプルが大きな役割を果たしているようだ。

仮説②：ピンポン球とゴルフボールを通過する空気の流れ方が違うのは、ボールの大きさが影響しているのではないか。

■計算①

この仮説を検証するために、レイノルズ数を計算してみたことにした。

レイノルズ数とは？

流れの様子を整理するために、物体の直径を代表的な長さとする数値。単位はない。

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{UL}{\nu}$$

U：物体の流れに対する相対的な平均速度
(国際単位系：m/s)
L：特性長さ（流体の流れた距離など）(m)
 μ ：流体の粘性係数 (Pa・s、N・s/m²、kg/(m・s))
 ν ：動粘性係数 ($\nu = \mu/\rho$)(m²/s)
 ρ ：流体の密度(kg/m³)

$\mu = 18.0 \times 10^{-6}$ (Pa・s)
 $\nu = \mu/\rho = 18.0 \times 10^{-6}/1.2 = 0.000015$ (m²/s)
 $\rho = 1.2$ (kg/m³)
U=3(m/s)
L=ゴルフボール42mm、ピンポン球40mm
それぞれに10⁻³をかける

ゴルフボール
= $1.2 \times 3 \times 42 \times 10^{-3} / 18.0 \times 10^{-6} = 3.6 \times 42 \times 10^{-3} / 0.000018$
= $0.1512 / 0.000018 = 8400 = 8.4 \times 10^3$

ピンポン球
= $1.2 \times 3 \times 40 \times 10^{-3} / 18.0 \times 10^{-6} = 3.6 \times 40 \times 10^{-3} / 0.000018$
= $0.144 / 0.000018 = 8000 = 8.0 \times 10^3$

ゴルフボールとピンポン球のレイノルズ数の差は、 0.4×10^3 であることから、大きな差はない。

■計算の結果

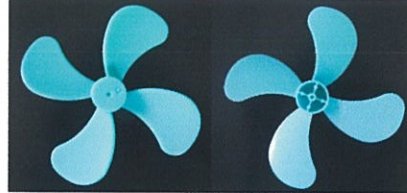
レイノルズ数がほぼ同じでも、ディンプルがあることによって、空気の流れが変化することがわかった。

参考：この実験では扇風機を後ろ向きに使い、空気を吸い出して流れを作ったので、U=3m/s。
ちなみにボールの初速が85~86.5m/sとされているタイガーウッズの場合、レイノルズ数を計算すると約 2.38×10^5 となる。
タイガーウッズとこの実験では、流れに大きな差があり、僕の簡易風洞の実験では、P2下の参考写真のような大幅な流れはく離の遅れは生じない。

仮説③：ゴルフボールはディンプルがあることではなく離が遅れる。ならば、扇風機のプロペラにもディンプルなどを付けることで、より強力、より広範囲に風を送れるようになるのではないか。

■制作①

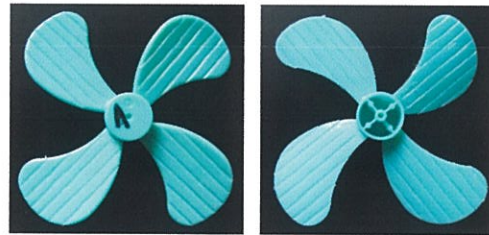
模型用のプロペラを加工する。



使用したプロペラ
・ダイワプロペラA型
・4枚羽根-直径11cm
・写真左：表
・写真右：裏

プロペラA(縦溝)

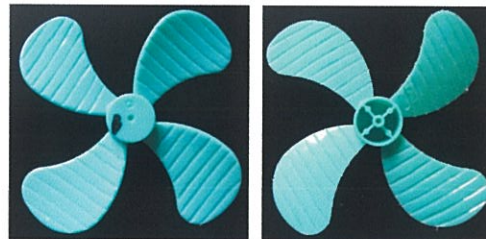
※プロペラの縦方向に直線の溝を付ける。
プロペラの厚みが、約1.2mm。
溝の深さは約0.3mm程度とする。



a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

プロペラB(横溝)

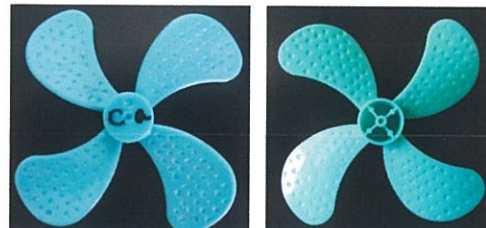
※プロペラの横方向に直線の溝を付ける。
プロペラの厚みが、約1.2mm。
溝の深さは約0.3mmとする。



a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

プロペラC(ディンプル)

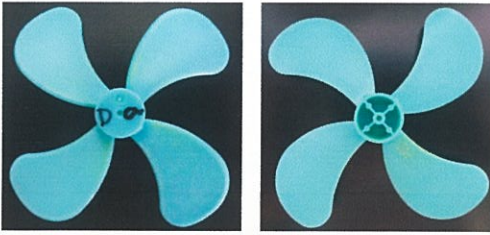
※プロペラの表面にディンプルを掘る。
プロペラの厚みが、約1.2mm。
ディンプルの深さは約0.3mmとする。



a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

プロペラD(ヤスリ加工)

※プロペラの表面をヤスリでこすり、表面をザラザラにする。
※こする方向は、縦横両方とする。



a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

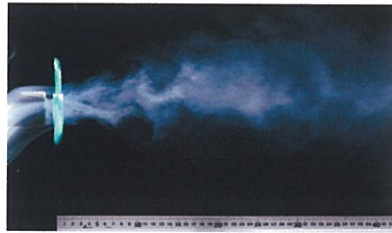
注意：各プロペラの加工は、最初に設計図を書き、彫刻刀を使って手作業で行った。

■実験②

プロペラが送り出す空気の流れ方を、煙玉の煙を使って撮影し、観察する。

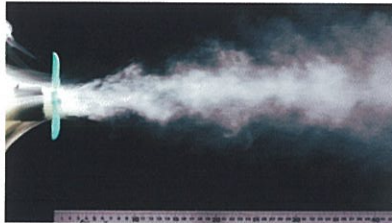
- ・使用モーター:MABUCHI小型直流モーターRE-280RA
- ・使用電源:単3乾電池2本(直流つなぎ)
- ※乾電池は、実験中の減りによってデータが変化するのを防ぐために、充電式のエネループを使用。
- ・使用した煙:スモークボール(煙玉)
- ※線香で実験してみたが、煙が足りず、空気の流れが見にくかったため、スモークボールを使用。

ノーマル



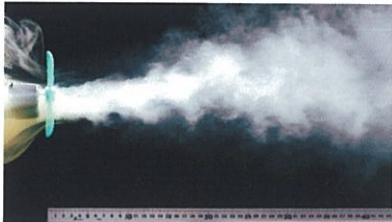
吸い込んだ煙は、プロペラを通過し、10cm程度まで直進。その後、拡散が始まる。拡散しながらも、中心に煙が濃い部分があり、センター部の風が強いことがわかる。

A(縦溝)-a



煙の流れは、ノーマルプロペラに極めて近い。ただ、センター部の煙がより濃いことから、風の直進力が強いことが予想できる。

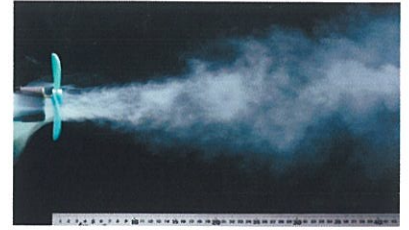
B(横溝)-a



Aに比べ、煙の拡散に角がなく、柔らかく風が広がっていくのがわかる。Aのように中心部の目立った煙の濃さがなく、風が均一に見える。

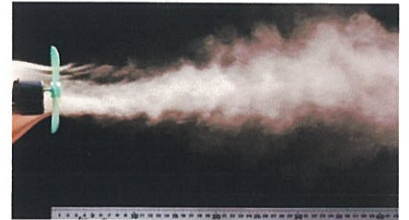
注意：煙玉を使用して風の流れを見る撮影は、a(表)、b(裏)、c(両面)すべてで実施したが、写真はスペースの関係で割愛する。

C(デインブル)-a



AやBと煙の流れは似ているが、プロペラを通過した後の煙の濃い薄いの差が小さく、風がムラなく行き渡っているように見える。

D(ヤスリ)--a



20cmを越えたあたりから拡散が始まっているが、拡散の幅が狭い。また、30cm近くまで直進する煙が見えるため、直進性は高いように見える。

■実験②の結果

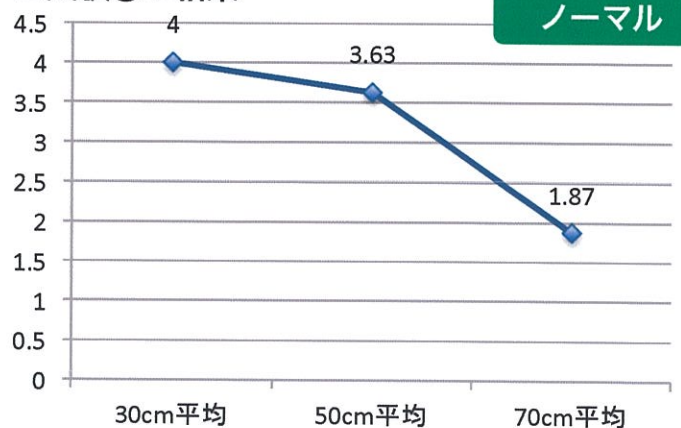
プロペラに施した加工の違いによって、放出される空気の形がさまざまに異なることがわかってきた。同じ素材、同じ形のプロペラでも、表面に加工することで目的に合ったプロペラにできることがわかってきた。

■実験③

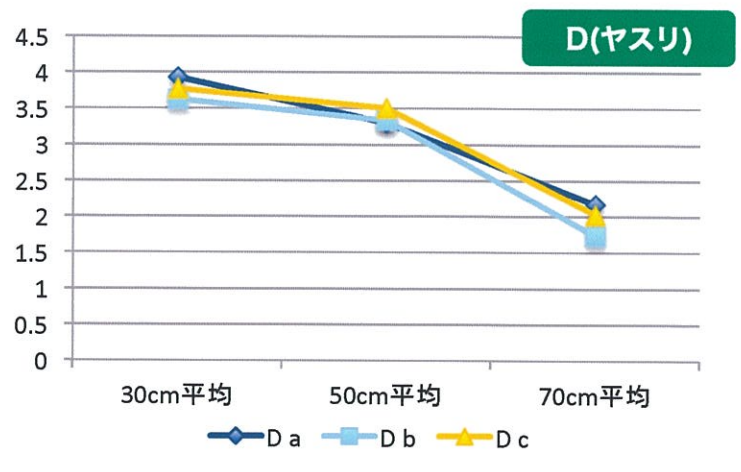
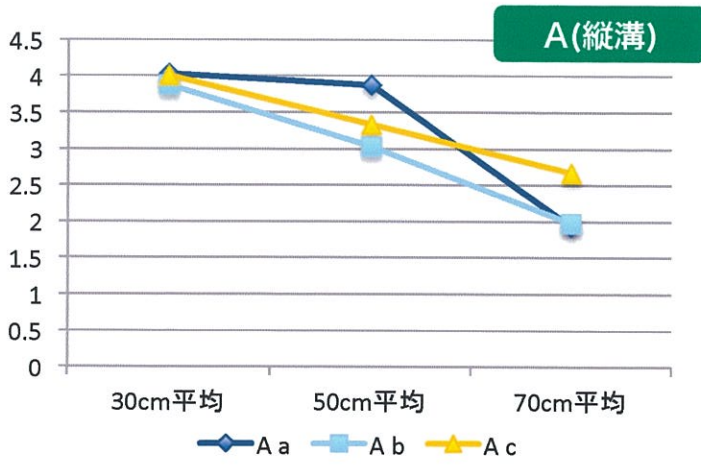
各プロペラの風速を計測する。計測は羽根の正面から30cm、50cm、70cmの3箇所、ならびに30cmの地点の10cm外側、50cmの地点の10cm外側の2箇所、合計5箇所を実施する。各プロペラ、各地点とも、それぞれ5回計測し、その平均と標準偏差を求める。

- ・使用風速計:ケニス株式会社 携帯型風向風速計 TA
- ・使用モーター:MABUCHI小型直流モーター RE-280RA
- ・使用電源:単3乾電池2本(直流つなぎ)
- ※乾電池は、実験中の減りによってデータが変化するのを防ぐために、充電式のエネループを使用。

■実験③の結果

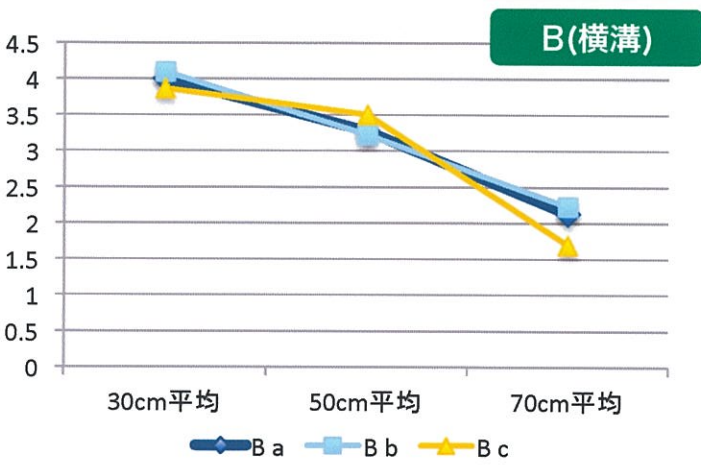


標準偏差:30cm=0.16340 50cm=0.16840 70cm=



標準偏差		30cm	50cm	70cm
A (縦溝)	a	0.04723	0.04723	0.08185
	b	0.04723	0.08185	0.09434
	c	0	0.08185	0.09434

標準偏差		30cm	50cm	70cm
D (ヤスリ)	a	0.08185	0	0.04723
	b	0.1634	0.1634	0.08185
	c	0.08185	0	0.08185



30cmでノーマルプロペラよりも、高い風速を叩き出したのがC(ディンプル)の表面と両面、それにB(横溝)の裏面だった。A(縦溝)は30cmではディンプルに劣るが、50cmでは表面がディンプルよりも風速が高かった。また、70cmになるとAの両面の風速が高く、プロペラの表面のを加工することによって、ノーマルプロペラよりも風を多く送れることがわかってきた。

仮説④：プロペラの表面に特殊な加工をすることで、空気のはく離を送らせることができるのではないかと。

標準偏差		30cm	50cm	70cm
B (横溝)	a	0	0.04723	0.08185
	b	0	0.1634	0.08185
	c	0.04723	0.08165	0

■制作②
 模型用のプロペラに、工業製品等で活用されている特殊加工を模して加工してみる。

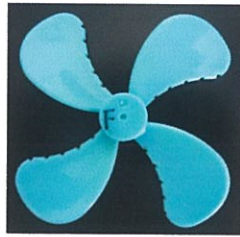
プロペラE(ボルテックス)

※プロペラの裏にボルテックスジェネレーターを付ける。プロペラの厚みが、約1.2mm。ボルテックスジェネレーターの高さは約0.8mmとする。



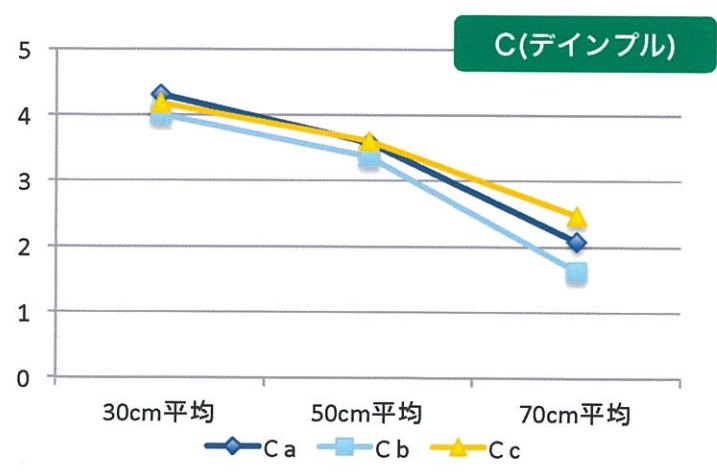
裏のみ

プロペラF(切り込み)



※プロペラのエッジ部分に切り込みを入れる。切り込みの長さは約1mmとする。

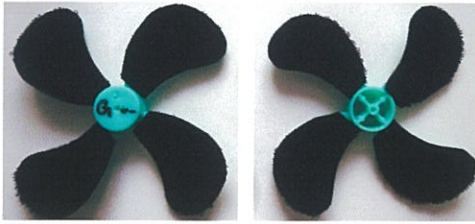
全体



標準偏差		30cm	50cm	70cm
C (ディンプル)	a	0	0.04434	0.04723
	b	0	0.04723	0.08185
	c	0.04723	0	0.09434

プロペラG(ベルクロ)

※プロペラの表面にベルクロのフワフワ面を貼り付ける。
プロペラの厚みが、約1.2mm。
ベルクロを貼ることによって、厚みは0.3mm増加する。

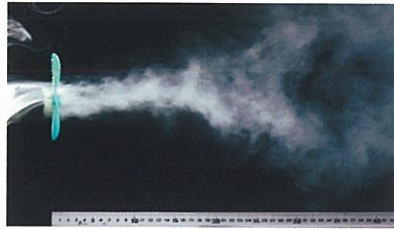


a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

■実験④

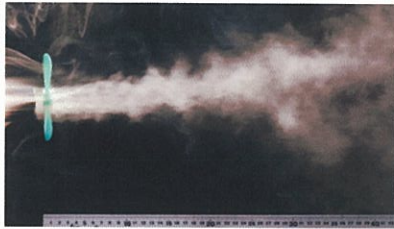
特殊加工をしたプロペラが送り出す空気の流れ方を、煙玉の煙を使って撮影し、観察する。

E(ボルテックス)



拡散する煙の中央にぽっかり穴が開いているのがわかる。ボルテックスジェネレーターによって空気の流れに変化が起き、風を届ける力が弱くなっているようだ。

F(切り込み)



煙の様子から、直進性の強さがわかる。プロペラから吹き出される風が、段々になっており、プロペラの加工が風の流に大きな影響を与えていることが読み取れる。

G(ベルクロ)-a



注意：Gの撮影は、b(裏)、c(両面)も実施したが、写真はスペースの関係で割愛。

プロペラを通過した煙は、通過と同時に一気に拡散を始めている。直進する風の流はほとんどなく、風が遠くに届かないことがわかる。

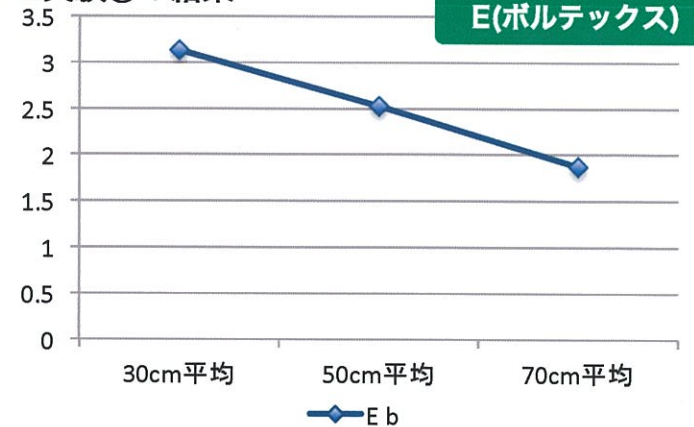
■実験④の結果

特殊加工をすることによって、プロペラから放出される風が大きく変化することがわかった。空気のはく離が遅れているかどうかを写真から読み取ることができないが、加工が空気の直進性や拡散性に大きく影響することはわかってきた。

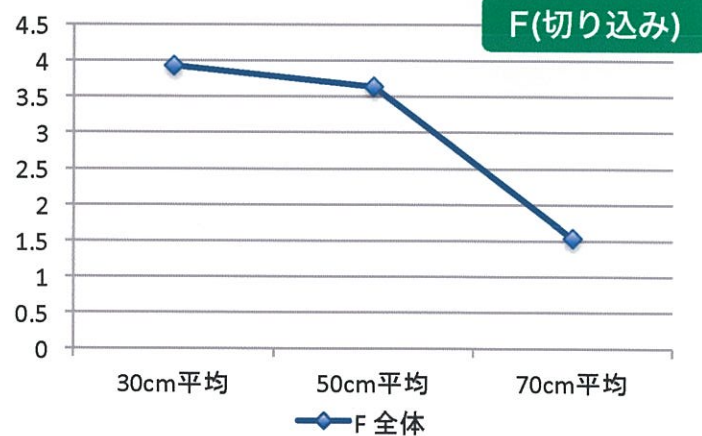
■実験⑤

各プロペラの風速を計測する。計測の方法、計測データの整理方法は、実験③と同様にする。

■実験⑤の結果



標準偏差	30cm	50cm	70cm	
E(ボルテックス)	b	0.12477	0.18859	0.04723



標準偏差	30cm	50cm	70cm	
F(切り込み)	全体	0.08185	0.08185	0.16340

G(ベルクロ)

Gもa、b、cすべてで計測したが、風速、標準偏差ともすべてが0なので、グラフ、表は割愛する。

空気のはく離に関する疑問についての答えはでなかったが、施した特殊加工によってプロペラから放出される空気がこれまでとはまったく異なる動きを見せ、風速を著しく低下させた。唯一F(切り込み)はノーマルに近い風速を計測できたが、70cmの距離での落ち込みは激しい。また、ベルクロにいたっては、下流正面に風が全く届かないこともわかった。

仮説⑤：プロペラから放出される風の風速には、プロペラの表面積が大きく関わっているのではないかと。

■制作③

プロペラの表面積が少なくなるような加工を施す。

プロペラH(蝶の鱗粉)



※プロペラを蝶の鱗粉に見立てて加工する。
外周部はハート型にカットする。

全体

プロペラI(ディンプル穴)



※プロペラ全体にディンプル状の穴を空ける。

全体

プロペラJ(1/2穴)



※プロペラのエッジとは反対側の反面に、穴を空ける。
輪郭を残し、穴の面積がプロペラの約半分になるよう加工。

全体

■実験⑥

表面積を小さくしたプロペラが送り出す空気の流れ方を、煙玉の煙を使って撮影し、観察する。

H(蝶)



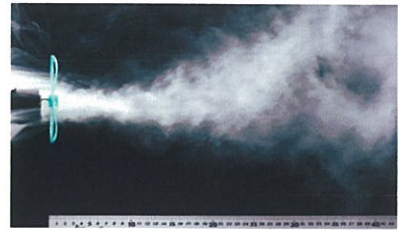
プロペラの面積が小さくなっているせいか、プロペラから吐き出される煙の束が細い。また、風に直進性や拡散性などの特徴を見ることができない。

I(ディンプル穴)



煙を集め、吐き出す能力はあるが、すぐに拡散が始まり、直進性は弱い。35cmまでは煙が届くが、その先は惰性で煙が広がっているように見える。

J(1/2穴)



羽根の面積の半分近くをカットしているにも関わらず、煙を吸い込み、吐き出す能力は維持している。しかし、35cm~40cm付近に、AやB、Cにはなかった煙の空洞が存在しており、他の羽根とは空気の流れが異なることがわかる。

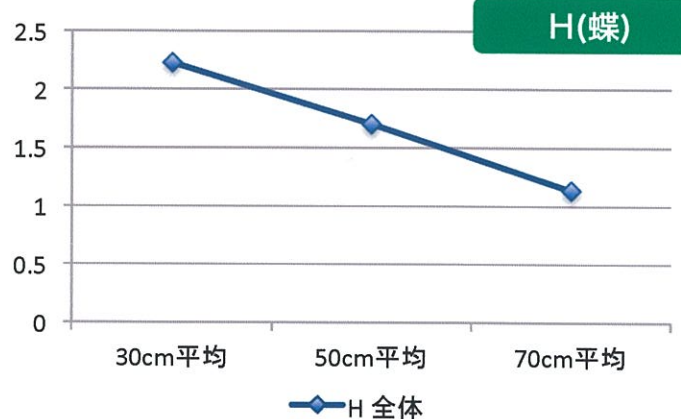
■実験⑥の結果

プロペラの表面積を小さくすることによって、プロペラから放出される空気の流れが大きく変化することがわかった。表面積の削り方により煙の形もさまざままで、中心の正面に届く風が明らかに弱くなっていることが写真から読み取れるプロペラも存在した。

■実験⑦

各プロペラの風速を計測する。計測の方法、計測データの整理方法は、実験③と同様にする。

■実験⑦の結果



標準偏差		30cm	50cm	70cm
H(蝶)	全体	0.12477	0.08165	0.08185

I(ディンプル穴)

J(1/2穴)

IJとも計測したが、風速も大きい値が出なかったため、スペースの関係上、グラフ、標準偏差は割愛する。

表面積を削ったプロペラは、いずれも風速が小さく、表面積と風速が密接に関わっているという仮説が裏付けられた。また、表面積の削り方によって風の流れ方が変わることも、わかってきた。

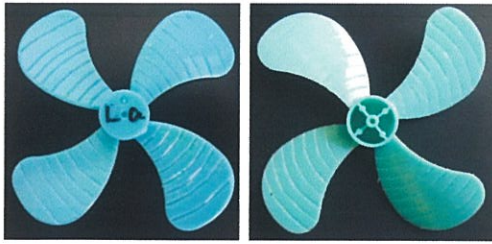
仮説⑥：加工する線を曲線にすれば、その溝に沿って空気が移動し、直進性のある風を送れるのではないかと。

■制作④

プロペラの表面に曲線の溝を掘る。

プロペラL(円形溝)

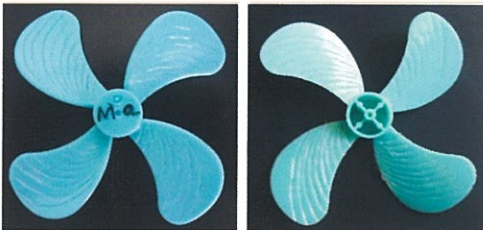
※プロペラの横方向に円形の溝を付ける。
プロペラの厚みが、約1.2mm。
溝の深さは約0.3mmとする。



a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

プロペラM(空気の流れ状)

※プロペラの縦方向に羽根の形に合わせた曲線の溝を付ける。
溝の深さは約0.3mm程度とする。



a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

■実験⑧

曲線の溝を掘ったプロペラが送り出す空気の流れ方を、煙玉の煙を使って撮影し、観察する。

L(円形溝)-b

注意：Lの撮影は、a(表)、c(両面)も実施したが、写真はスペースの関係で割愛。



20cmを過ぎると拡散が始まるにも関わらず、40cm近くになっても直進する煙の束が見える。直進性、拡散性ともに優れたプロペラであるようだ。

M(空気)-a

注意：Mの撮影は、b(裏)、c(両面)も実施したが、写真はスペースの関係で割愛。



プロペラから吹き出される煙が、他のプロペラよりも強い渦になっており、渦の幅も広い。25cmあたりまでは直進性が強いが、拡散が始まると煙の密度にムラができている。

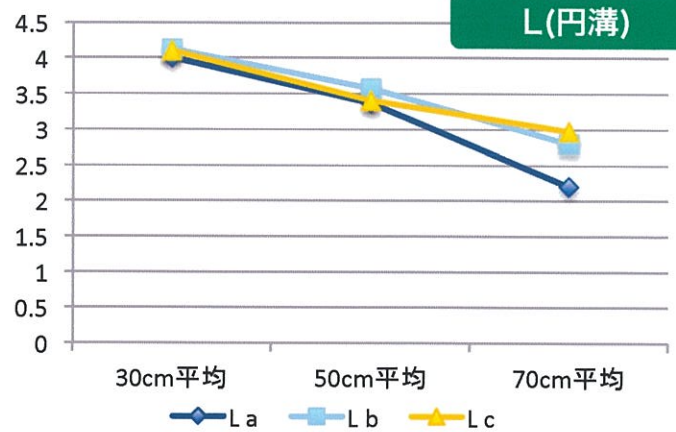
■実験⑨の結果

写真を見る限り、プロペラに曲線の溝を付けることで、直進性の強い風が放出されている。特にLは、プロペラから離れても中心部に濃い白の煙が見えることから、真っ直ぐな風が遠くまで届くと言えそうだ。

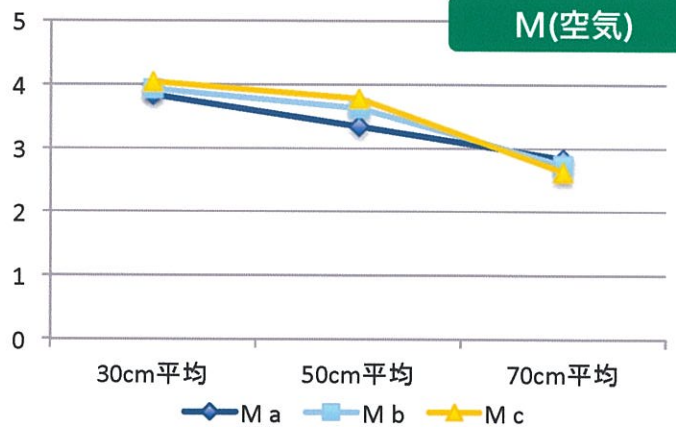
■実験⑨

各プロペラの風速を計測する。計測の方法、計測データの整理方法は、実験③と同様にする。

■実験⑨の結果



標準偏差		30cm	50cm	70cm
L(円形溝)	a	0	0.1245	0
	b	0.08185	0.09434	0.08165
	c	0	0	0.09434



標準偏差		30cm	50cm	70cm
M(空気)	a	0.08185	0.12477	0.08185
	b	0.08185	0.08185	0.08185
	c	0.08185	0.04723	0.08185

L、Mとも風速は高い値で推移し、風の直進性が高いことが実証された。特徴的なのは、L-bの50cm地点、L-cの70cm地点、そしてM-aの70cm地点の風速が高いことである。遠くの風速が高いということは、それだけ直進性の風が届いているということになり、仮説が正しいと言えるのではないかな。

仮説⑦：プロペラA、プロペラBの風速がCほど高くなかったのは、掘った溝が深かったために、空気抵抗が大きくなったからではないか。

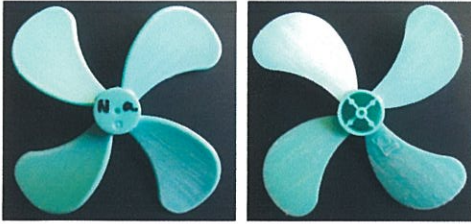
■制作⑤

プロペラの表面に浅い溝を掘る。

プロペラN(ヤスリ縦)

※プロペラの表面をヤスリでこすり表面をザラザラにする。こする方向は、縦のみとする。

Dよりも粗いヤスリを使い、ザラザラ度を高める。

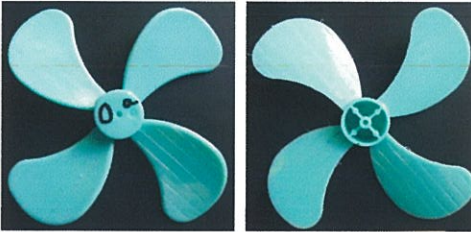


a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

プロペラO(縦溝・浅)

※プロペラの縦方向に直線の溝をつける。

溝の深さをAよりも浅くし、約0.1mm程度とする。

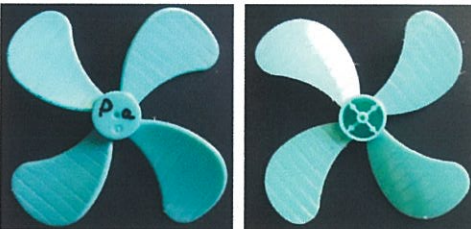


a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

プロペラP(横溝・浅)

※プロペラの横方向に直線の溝をつける。

溝の深さをBよりも浅くし、約0.1mm程度とする。



a:表のみ
b:裏のみ
c:両面

■実験⑩

浅い溝を掘ったプロペラが送り出す空気の流れ方を、煙玉の煙を使って撮影し、観察する。

N(ヤスリ縦)-a



注意：Nの撮影は、b(裏)、c(両面)も実施したが、写真はスペースの関係で割愛。

20cmまでの直進性ははっきりしているが、40cmあたりで直進する煙を見るのが難しい。ある点までは直進し、一気に拡散するプロペラのような。

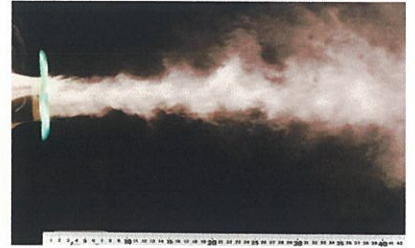
O(縦溝・浅)-a



注意：Oの撮影は、b(裏)、c(両面)も実施したが、写真はスペースの関係で割愛。

Aよりも溝の深さを浅くしたことにより、拡散の幅が広がったようだ。30cmを越えた後も煙の色にムラがなく、一様に風が拡散していることがわかる。

P(横溝・浅)-c



注意：Pの撮影は、a(表)、b(裏)も実施したが、写真はスペースの関係で割愛。

40cm地点まで、煙がしっかり直進しているのがわかる。拡散が始まる地点も他のプロペラに比べて後方で、より直進性の強いプロペラであると言えるだろう。

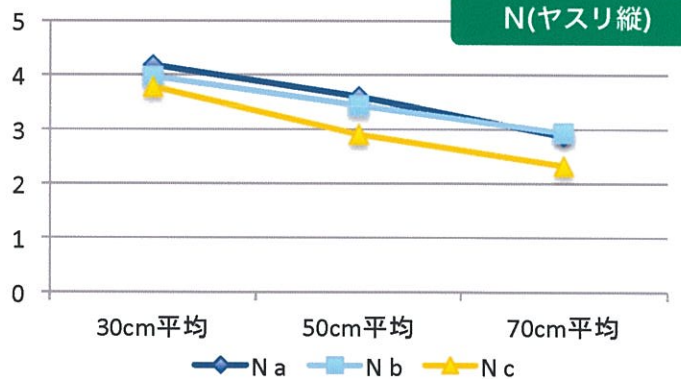
■実験⑩の結果

空気抵抗を少なくすることを目的に制作したプロペラは、いずれも直進する煙の色が濃く、風が真っ直ぐに放出されているようだ。拡散の様子はプロペラによって異なり、これが風速にどう影響するのか楽しみである。

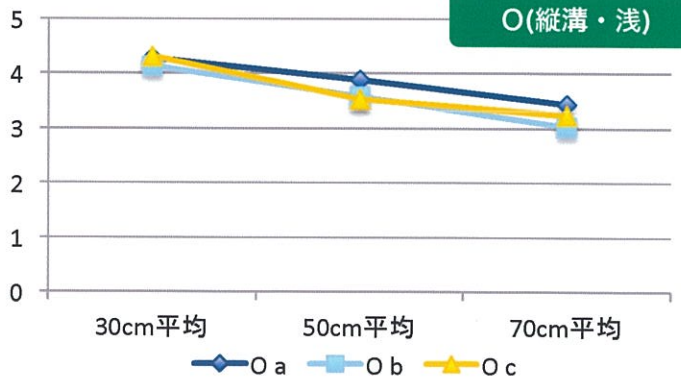
■実験⑪

各プロペラの風速を計測する。計測の方法、計測データの整理方法は、実験③と同様にする。

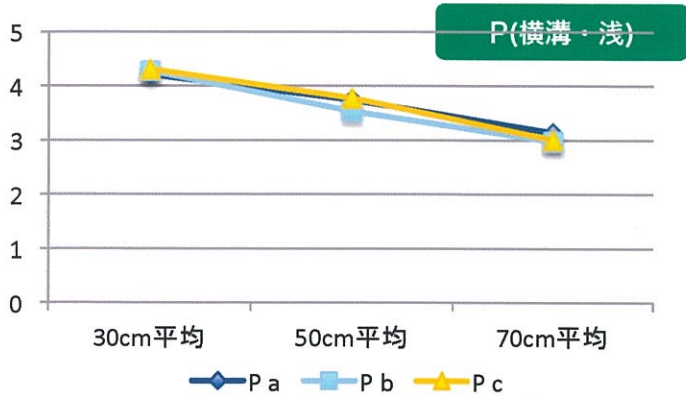
■実験⑨の結果



標準偏差		30cm	50cm	70cm
N(ヤスリ縦)	a	0.08185	0.08165	0.04723
	b	0.08185	0.1634	0.08185
	c	0.08185	0	0.08185



標準偏差		30cm	50cm	70cm
O(縦溝・浅)	a	0.09434	0.1245	0.08185
	b	0.08185	0.1245	0.12477
	c	0	0.08185	0.08185



標準偏差		30cm	50cm	70cm
P(横溝・浅)	a	0.08165	0.17	0.08185
	b	0.08185	0.1634	0.09434
	c	0	0.04723	0

O、Pは、30cm、50cm、70cm地点とも風速が大きく、同じ溝を浅くするだけで空気抵抗が減り、高い値が出ることがわかった。特にO-aの70cm地点の風速は全プロペラの中で一番大きく、プロペラに浅い溝を掘るだけで、強い風を放出することができるようになることが実証できた。

仮説⑧：計測した風速をもとに風量を求めることで、加工したプロペラの効果を実証できるのではないか。

■計算②

この仮説を検証するために、風量を計算によって求めた。

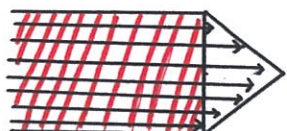
計算の考え方

円柱を一定速度で通る風の場合、風量は円柱の断面積×風速で求められる。これより、プロペラから放出された風は、ある地点までは円柱で進み、そこから円錐の形になると考え、風量の近似値を円柱+円錐という計算で求めてみた。

$Q=A \times V$ Q:風量(cm^3/s)
 A:通過面積(cm^2)
 V:通過風速(cm/s)であることから

➡ プロペラの中心から30cmの地点で風速を計測し、その地点から10cm外側の風速も計測した。これにより、想定する円柱の半径は $10 \times 10 \pi \text{cm}^2$ となる。

$$Q = \underbrace{100\pi \times V}_{\text{円柱}} + \underbrace{AV\pi \times 1/3}_{\text{円錐}}$$



※赤の斜線部は風速が一定の地点

以上の考え方で求めた風量が右の表である。

P-c、P-b、C-aの風量が多いことが一目瞭然だ。

	風量(πcm^3)
ノーマル	33626.667
A-a	32566.667
A-c	36200
B-a	34466.667
B-b	35466.667
C-a	38666.666
C-b	34666.667
C-c	34766.667
L-a	34666.667
L-b	33566.667
L-c	34333.333
M-c	33233.333
N-a	36100
O-a	35033.333
O-b	37100
O-c	37200
P-a	34000
P-b	39233.333
P-c	40533.333

■研究の考察

この研究によって、プロペラに加工を施すことで、プロペラの形状を変えずに目的に合った羽根がつけられることがわかってきた。扇風機に的を絞った場合は、P-c、つまりプロペラの横方向に浅い溝を掘ったものがもっとも多くの空気を送れることがわかった。

ディンプルは、さすがに製品化されているだけあり、風速も大きく、風量も多い。しかし、この研究によってディンプルを超えるプロペラが見つげられたことに満足している。

この研究では、プロペラが空気を吸い込む機能のことも実験したかったが、良い方法が見つからず、放出することだけに焦点を絞った。今後は、この吸い込む側を考えるとともに、50cm、70cm地点での風量も継続して求めていきたいと考えている。

■謝辞

この研究を行うにあたり多くのアドバイスをくださった筑波大学の吉田恭先生、院生の中嶋慧さんに感謝いたします。また、煙でモクモクになりながら撮影に協力してくださった株式会社スタジオワーク松本龍二カメラマンにお礼申し上げます。