



Title	人力飛行機の主翼前縁部素材の違いが翼性能に与える影響に関する研究
Author(s)	津曲, 夏子
Citation	平成29年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2018
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/68110">https://hdl.handle.net/11094/68110</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 平成 29 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	つまがり なつこ 津曲 夏子	学部 学科	基礎工学部 システム科学 科	学年	2 年
ふりがな 共 同 研究者氏名	わくた ゆうすけ 涌田 悠佑	学部 学科	工学部 電子情報工学 科	学年	3 年
	しのはら なおき 篠原 直樹		工学部 応用理工学科		3 年
	たけもと たくみ 武本 侑己		工学部 電子情報工学 科		2 年
アドバイザー教員 氏名	尾崎 雅則	所属	工学研究科 電気電子情報工学専攻		
研究課題名	人力飛行機の主翼前縁部素材の違いが翼性能に与える影響に関する研究				
研究成果の概要	主翼前縁部素材の違いによって翼の圧力分布がどのように変わるかについて、風洞実験を実施し調べた結果、変化の傾向は異なるものの変化の大きさに有意な差は無いことが明らかになった。				

## 1 研究背景・目的

私たちは大阪大学飛行機制作研究会に所属し、毎年、前年度の反省点を踏まえて設計に改善を加えながら人力飛行機を製作している。本年度の機体設計では、主翼の性能に大きく寄与する前縁部(図 1 白色部)の軽量化を図り、その素材をポリスチレンペーパー(以下 PSP)から押出法ポリスチレン(以下 XPS)に変更した。しかしながら、薄くスライスした XPS は PSP に比べ変形しやすいため、リブ(図 1 灰色部)に支えられていない部分(以下リブ間)で変形し設計通りの性能を発揮できないのではないかという疑問が生じた。

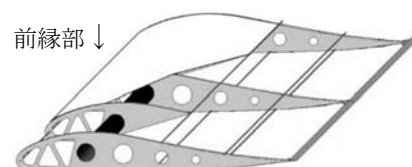


図 1 翼構造の模式図

そこで本研究では、前縁部に PSP を用いた翼と XPS を用いた翼の 2 つを製作し、風洞実験により翼の表面にかかる圧力の分布を測定して素材の違いが翼の性能に与える影響を比較した。

## 2 実験の手順

## 2.1 主翼製作

- 実験に使用した翼の仕様を表 1 に示す

表 1 実験に使用した翼の緒元

翼幅(mm)	1000
翼弦長(mm)	700
テーパー比	1(矩形)
翼型	Alb1702(自主開発)
構造	パイプ桁-発砲リブ(5 枚)構造

- 昨年度機体と今年度機体の前縁部の違いに焦点を絞り比較するため、前縁部以外の構造が全

く同じ 2 つの翼を製作した。前縁部には、昨年度機体に使用した 2mm 厚 PSP と今年度機体に使用した 2.5mm 厚 XPS をそれぞれ用いた。PSP と XPS の厚さの違いを考慮してリブの前縁部は形状を変えて製作した。

- 前縁部に圧力観測用の穴(直径 2.0mm)を、隣接するリブ間の中央部(もっとも変形すると考えられる)とリブ近傍(比較対象)に図 2 のように 9 個ずつ開け、微差圧計に繋げるためのテフロンチューブを接続した。チューブはリブの肉抜き穴を通して外へ出した。

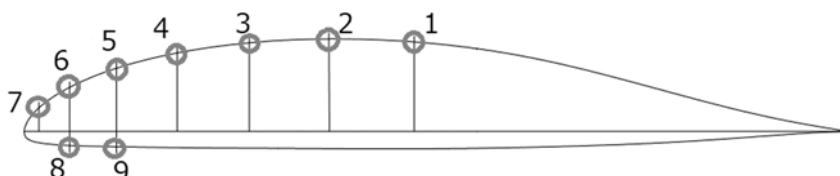


図 2 測定孔位置とナンバリング

## 2.2 風洞実験 (大阪大学大学院工学研究科研究用風洞)

2 種類の翼を製作し、2017 年 9 月 19 日に以下の手順で実験を行った。

- 翼を 1 つずつ図 3 のように迎角が  $7.7^\circ$  となるよう風洞内に固定した。
- 測定孔に接続されているチューブの末端を、ハブを介して微差圧計に接続した。これによって一回の測定毎に、リブ間中央部とリブ近傍それぞれ 9 個の測定孔における動圧の値が計測できる。
- 2 種それぞれの翼に対して風速 7.7m/s で 2 回の測定を行った。
- 測定毎に、風洞内ピトー管で一様流の動圧を計測した。



図 3 風洞内に翼を固定した様子

## 3 実験結果

各測定孔で計測された動圧の値  $P_1$  と、測定毎に計測した一様流の動圧  $P_0$  から圧力係数  $C_p$  ( $=P_1/P_0$ ) を算出した。使用した翼型に関して、あらかじめ翼型解析ソフト xflr5 を用いて計算した  $C_p$ (理論値)と、2 種類の翼のリブ間中央部及びリブ近傍の  $C_p$ (2 回測定の平均値)を図 4 に示す。(PSP を用いた翼での第 9 番測定孔は測定時の計器の値が不安定であったため記録がない。)

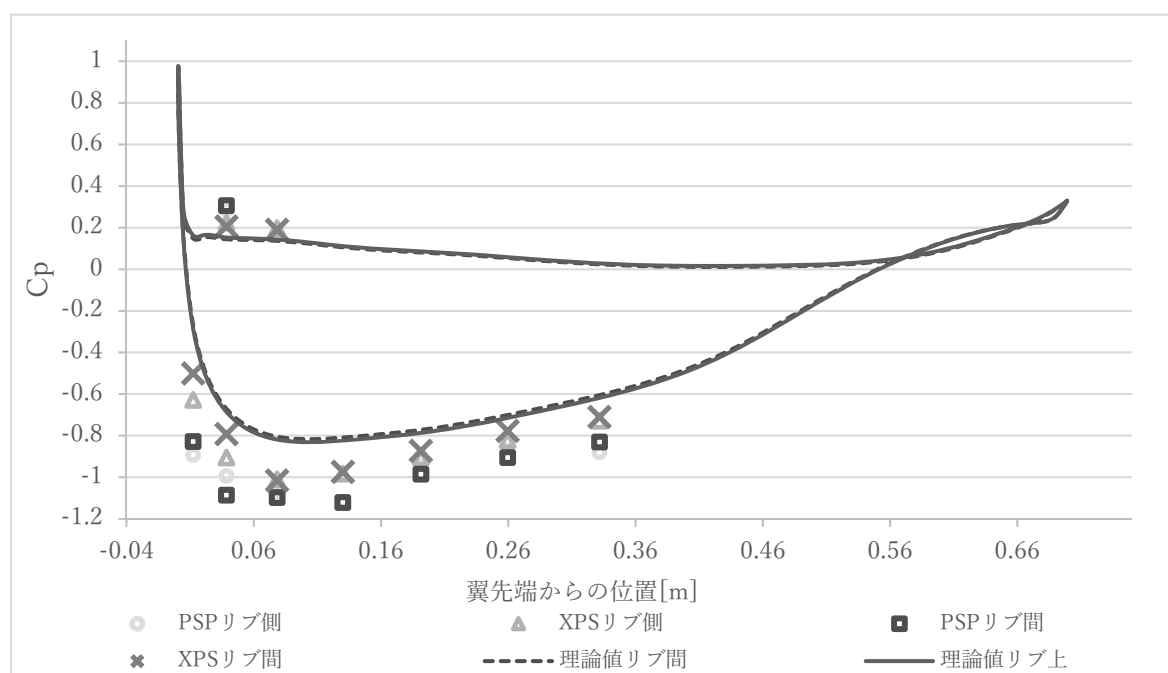


図 4 翼の各位置における  $C_p$ (圧力係数)と理論値の比較

#### 4 計算

以下、それぞれの翼で行った第  $i$  回目の測定における  $j$  番リブ近傍の測定孔での  $C_p$  の値を  $N_{ij}$ 、リブ間中央部の測定孔での  $C_p$  の値を  $M_{ij}$  と表現する。また、特にリブ近傍とリブ間中央部を区別しない場合  $C_{p_{ij}}$  と表現する。(  $i=1,2$ 、  $j=1\sim8$ (PSP)、  $j=1\sim9$ (XPS) の値を取り得ることになる。)

##### 4.1 測定の精度

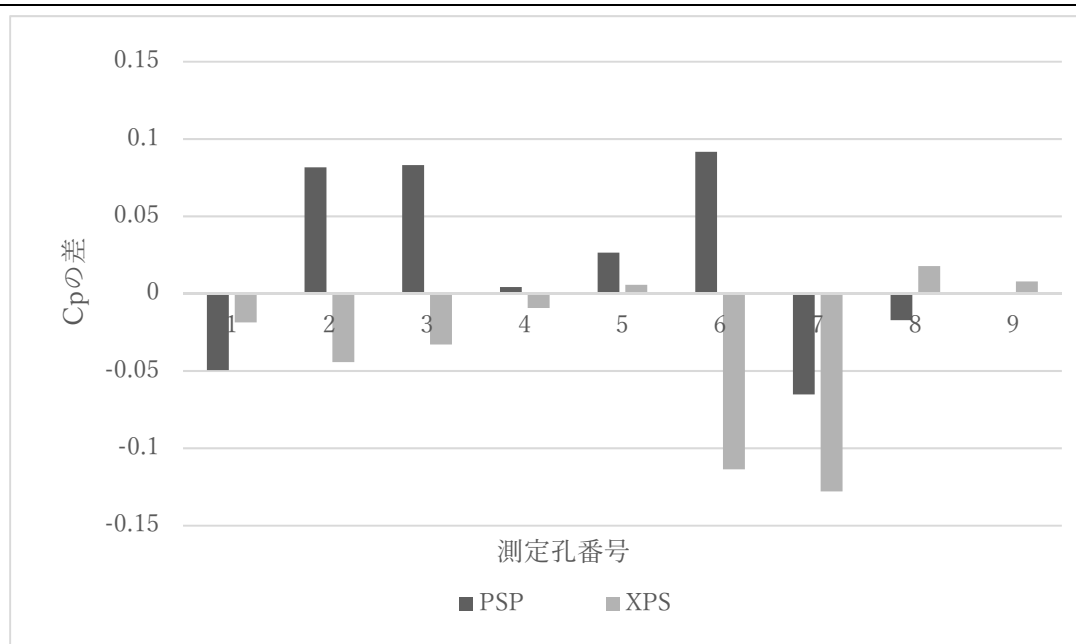
今回の実験では 1 つの測定孔に対して同一条件で 2 回の測定を行った。その平均値に対する 2 値の差の割合は最大でも 0.8% 未満であった。

$$\max_{j=1\sim9} 100 \times \left| \frac{C_{p_{1j}} - C_{p_{2j}}}{\left\{ \frac{C_{p_{1j}} + C_{p_{2j}}}{2} \right\}} \right| \leq 0.8$$

##### 4.2 リブ近傍測定孔での動圧とリブ間中央部測定孔での動圧の比較

リブ近傍とリブ間中央部の対応する測定孔での圧力係数  $C_p$  の差を算出し、平均したものを図 5 に示す。(横軸は測定孔のナンバリングに対応する。)

$C_p$ の差 :	$N_{ij} - M_{ij}$	
------------	-------------------	--

図 5 リブ近傍  $C_p$ -リブ間中央部  $C_p$  の差

#### 4.3 素材の違いによる $C_p$ の差の違いの評価

測定孔の位置によって受ける圧力が変わるため、前縁部構造の変形量も変わると考えられる。すなわち、 $C_p$  の差はその位置に依存すると考えられる。

そこで、本来変化しないと考えられるリブ近傍の測定孔の  $C_p$  を用いて、 $C_p$  の差(絶対値)を規格化した。(以下  $C_p$  の変化の割合とし、単位は%で表す。)

$C_p$ の変化の割合の平均：	$\frac{1}{2n} \sum_{i,j} 100 \left  \frac{N_{ij} - M_{ij}}{N_{ij}} \right $	(n は翼一つあたりの測定孔の数)
------------------	---	-------------------

PSP 翼と XPS 翼それぞれについて  $C_p$  の変化の割合を平均した値は表 2 のとおりである。

表 2 圧力係数  $C_p$  の変化の割合

PSP 翼 $C_p$ の変化の割合[%]	6.26
XPS 翼 $C_p$ の変化の割合[%]	6.44

この差が有意なものかを判断するために、有意水準  $\alpha=0.01$  で student の t 検定を行ったが、対立仮説は棄却された。

## 5 考察

### 5.1 圧力係数 $C_p$ が増減する傾向の素材による違い

前項 4.2 について、XPS 翼ではリブ間中央部測定孔の  $C_p$  がリブ近傍測定孔の  $C_p$  より低い値をとる傾向にあったが、PSP 翼ではリブ間中央部測定孔の  $C_p$  の方が高い値をとる傾向がみられた。測定孔 1~7 までは負の動圧が計測されているので、 $C_p$  の値が低いほど翼を持ち上げる力(すなわち揚力)が大きく働くことになる。すなわち、XPS 翼ではリブ間で揚力が減少したが、PSP 翼ではリブ間で揚力が増加した。実験を行うまではどちらの素材でも前縁部の変形によって揚力が減少すると予想していたため、意外性のある結果が得られた。

一般に、前縁部の曲率が小さくなると揚力係数が大きくなる。したがって上記の要因としては、PSP を用いた前縁部のリブ間が少し膨らんだ形になっていた可能性が考えられる。実際に、前縁部の成形は平板の PSP や XPS を前縁部に沿った形に熱変形させて行うが、PSP は加熱変形温度が  $104^{\circ}\text{C}$  と XPS の  $80^{\circ}\text{C}$  を大きく上回っており加工が難しい。

### 5.2 素材以外の条件の違い

本実験では前縁部素材以外の条件が同じであるため、PSP 翼と XPS 翼のリブ近傍測定孔での動圧は同じ値をとることが予想された。しかし実際は大きく異なる値が計測された。また、翼型解析ソフト xflr5 を用いて実験と同条件で算出した理論値とも異なっていた。

考えられる要因として、翼を風洞内に設置する際に迎角を正確に合わせられていなかった可能性が挙げられる。本実験では、設置時に翼の端にあるリブに書かれた翼弦線に、風洞の床を  $0^\circ$  に合わせたデジタルアングルメーターをあてて調整を行った。この方法では、メーターと翼弦線を合わせる際に誤差が生じやすいと考えられる。



図 6 迎角調整の様子

### 5.3 PSP 翼と XPS 翼の比較・評価

PSP 翼と XPS 翼でリブ近傍測定孔での動圧の値が異なっていたため、前縁部にかかる圧力にも違いがあったと考えられる。しかし、前項 4.3 で述べた  $C_p$  の変化の割合は各測定孔にかかる圧力の違いによる影響を取り除いて評価できるため、表 2 に示した計算結果を採用し、PSP と XPS の違いが翼表面の圧力係数に与える影響の大きさに有意差はないと判断できる。

本実験では、フィルムのみで翼表面を成形している部分にチューブを取り付けることが困難という物理的な制約から、前縁部のみに測定孔を設けた。これによって、実験の結果から直接揚力と抗力を算出することはできなくなった。ただし、前縁部リブ間以外は  $C_p$  の値は変化しないと仮定すると、素材の違いによってどの程度揚力が増減するかは、符号を考慮して  $C_p$  の変化の割合を平均した以下の表 3 に示した値で大まかに推測することができる。ただし、本実験の結果は用いた翼型やリブを設置した間隔など、他の様々な要因にも依存していることに注意が必要である。

表 3  $C_p$  の増減の割合

PSP 翼 [%]	+3.03
XPS 翼 [%]	-6.43

## 6 風洞実験手法に関する課題

本実験に際して、次回以降風洞実験を行う場合に考慮すべき問題点が散見されたので、以下の 3 項目に分けて記す。

### 6.1 迎角の調整

実験結果への大きな影響があった可能性があるため、迎角調整の方法を改善し信頼性を高める必要がある。翼弦線をより長く罫書き、また逆側の翼端にあるリブにも翼弦線を書いて確認できるようにする、固定具に共通の分度器を取り付け基準とする等の工夫が必要であった。

### 6.2 テフロンチューブの接着

前縁部とチューブの接着方法の改善も求められる。今回の実験では、当日チューブが数本測定孔から抜け落ちるアクシデントがあった。修復して測定に臨んだが、PSP を用いた翼の第 9 番測定孔で値が取れなかった理由として、完全には修復できていなかった可能性が考えられる。前縁

部とチューブを固定する接着剤は、事前に 3 種類(発泡スチロールボンド、スチロールのり、木工用ボンド)をテストしたがどれもテフロンチューブを完全に接着することはできず、最も抜けにくかったスチロールのりを採用したが、チューブを引っ張らないよう常に注意が必要であった。次に風洞実験を行う際には他の接着剤もテストするか、他の材質のチューブを検討すべきである。

### 6.3 模型の大きさ

今回用いた翼は風洞のサイズに対して大きく、風洞の壁からの影響が懸念された。本実験は用いる素材の変形が結果に影響を及ぼすと考えられたため、実際に人力飛行機に用いることのできる大きさの模型を製作したが、可能であれば風洞の壁の影響を無視できる大きさの縮小模型を製作し使用したほうが良い。

## 7 結論および今後の課題

前縁部素材による圧力係数  $C_p$  の違いは、PSP と XPS の 2 種類の素材の間で有意な差が無いことが確認できた。一方、2 種類の素材でリブ間での  $C_p$  の変化の符号(増減)に違いがみられることも新たに発見できた。今後の課題として、前縁部構造の素材以外の要素が  $C_p$  に与える影響を検証し、より良い前縁部構造をもった人力飛行機を設計・制作していきたい。

## 8 参考文献

牧野光雄著「航空力学の基礎」(第 3 版) 産業図書株式会社

## 9 謝辞

本研究はアドバイザー教員を引き受けてくださった尾崎先生、風洞実験の実施にお力添えいただいた風洞実験室の川端先生、工学研究科の山中先生、甲谷先生をはじめ、本自主研究奨励事業を支えてくださっている皆様方のご助力なくして成しえなかったものです。大阪大学飛行機制作研究会一同、心より御礼申し上げます。