

1. ウイングレット模型の利点

その第1は製作が著しく簡単のことです。キャンバーはあるにしても平板翼を作り、それに翼端のウイングレットを貼り付ければ完成です。アスペクト比が低い領域では通常翼よりも高性能なのでスパン制限のある機体/競技種目に有利です。

ウイングレット翼の上反角効果の発生原理

通常の上反角のある翼では、翼が右に傾くと機体はその方向に横滑りを始めます。その時気流の方向から見れば翼は図の上の様に見えます。右翼の迎角が左翼より大きくなっており、その結果右翼の揚力が増加して翼を元の傾きまで回復させます。これが通常翼の上反角効果です。図の様な上反角が全く無いウイングレット翼の機体でも安定に飛行するので主翼が上反角効果を有しているのは間違いがありませんが、その発生機構はどうなっているのでしょうか？図が一つのヒントになります。上反角を段々大きくしていくとウイングレット翼に到達します。その時の左右の揚力差の様子を矢印で示しましたがこの図からウイングレットでも上反角効果があることは想像できます。

横滑り時に気流の方向（正面）から見たウイングレット翼の見え方は図の下の通りです。左右どちらのウイングレットでも気流は図の正面から当る訳ですからウイングレットには紙面上で右向きの揚力（横力）が発生します。今度は同じウイングレットを後から見たのが図ですがウイングレットに発生した揚力（横力）は左向きの矢印です。

一般に翼に揚力が発生すると翼の裏側（気流が当る側）は高圧、その反対側（表側）は低圧になります。これは今話題にしているウイングレットの場合もその通りで、ウイングレットの両面の圧力は上の図のようになります。薄い灰色が低圧、濃い灰色が高圧です。このウイングレットの圧力変化は主翼上面のウイングレット近傍部分にも図に示す圧力変化を起こし、主翼右端では上面の圧力低下による揚力増、主翼左端では上面の圧力増加による揚力減をもたらします。その様子は上向きと下向きの矢印で示しました。

この翼上面の揚力変化の様子を XFLR5 で解析した結果をグラフ 1 に示します。縦軸は揚力係数 (Cl) ですが右翼の揚力係数が左翼のそれよりも大きくなっているのが分ります。

XFLR5 の計算によれば傾きからの復元への寄与の程度はウイングレットに発生する横力 1 に対して翼上面の圧力変化により揚力変化 2 程度です。

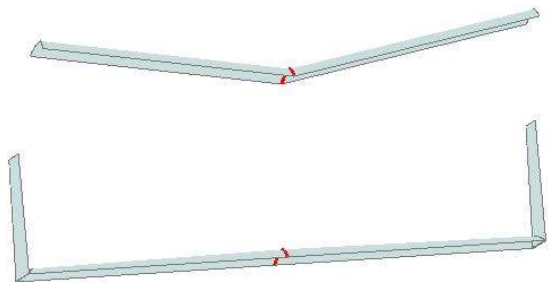


図 横滑り時の翼の見え方

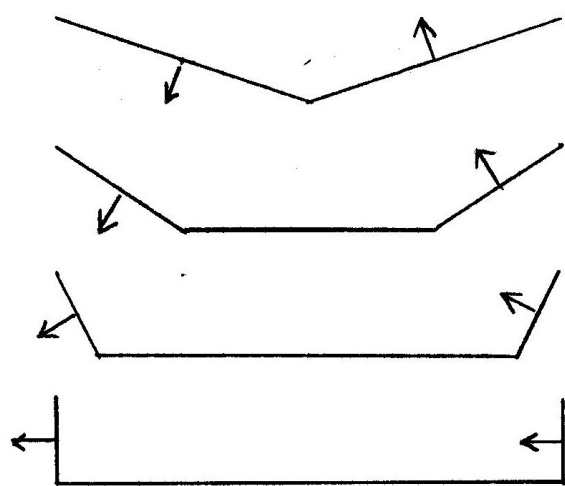


図 横滑り時の揚力変化と上反角

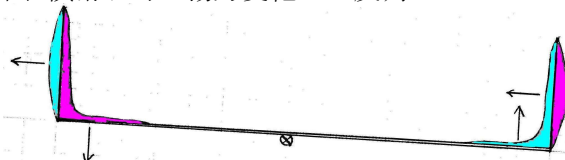
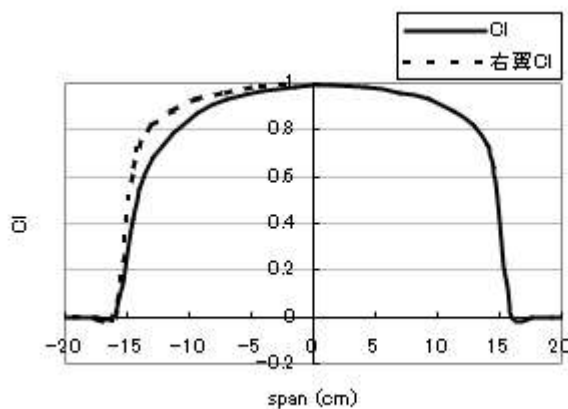


図 2 ウイングレット翼の上反角効果の発生メカニズム



グラフ 1 W7.0の横滑り時の揚力係数分布 (迎角5度、横滑り角5度)

(この数値から) ローリングモーメントにおける横力の寄与比は $0.0091/0.00269 = 1/3$ となる。残りの $2/3$ が主翼上面の圧力変化に由来すると言える。

6. ウイングレット翼の上反角効果

2. ウイングレットの上反角効果の大きさ
W3.5とW7.0で迎角5度、横滑り角5度の場合のローリングモーメントと同じローリングモーメントを与えるV翼を図3に示す。

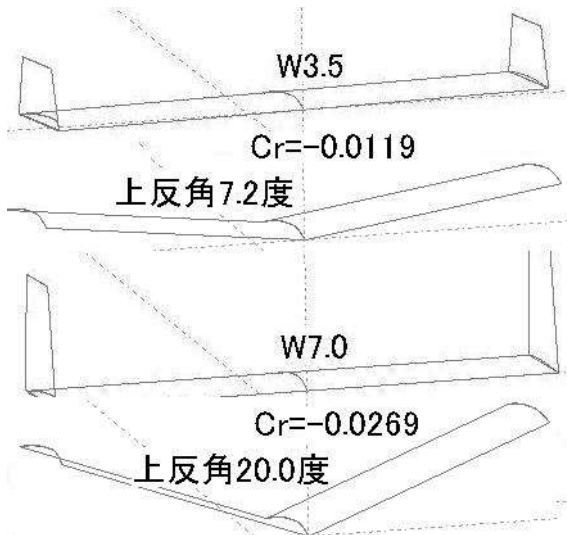
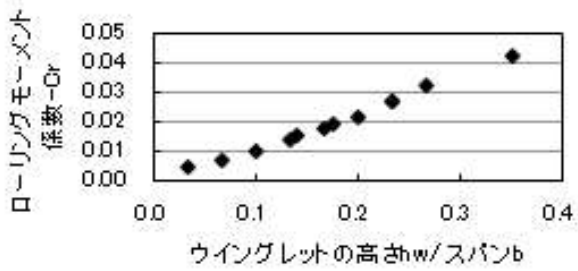
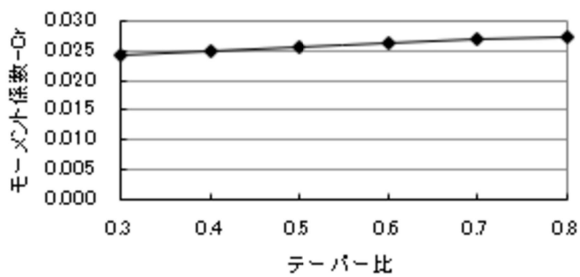


図3 上反角効果が等しいウイングレット翼とV翼（迎角5度 横滑り角5度）

上反角10度のV翼機と計算上同じCrを有するウイングレット機に同じ容積の垂直尾翼を付け、共に安定に飛行することも確認している。

W7.0を元にしてウイングレットの下辺長を固定しテーパー比（上辺長/下辺長）を変えた翼のCrの変化をグラフ2に示す。テーパー比のCrへの影響は非常に小さい。これは写真2のhw/cが等しい2機の垂直尾翼容積が殆ど同じであることから確認できる。



グラフ2 テーパー比によるCrの変化
迎角5度 横滑り角5度

ウイングレットの高さhwのローリングモーメントへの影響を調べるために、hw=7cmに固定してb=20cm, 30cm, 40cm, 50cmにした4翼とb=30cmに固定してhw=1cm, 2cm, ..., 7cm, 8cmにした8翼、合計11翼のCrをグラフ3にプロットした。解析したhw/bとアスペクト比の範囲ではウイングレット翼のローリングモーメントCrがウイングレットの高さhw/スパンbに比例することが分る。解析したアスペクト比の範囲は2.9から7.1である。

7. ウイングレット翼の性能

グラフ4に解析対象3翼：w0.0, w3.5, w7.0のCl Cd特

性を、グラフ5に同じくCl/Cd、翼のみのパワーファクター（以下PF） Cl^2 / Cd 、全機推定PF $Cl^2 / (Cd + 0.5)$ を示す。W7.0とW0.0の迎角5度における特性値を以下に示す。

特性項目	W7.0	W0.0	W7.0/W0.0
Cl	0.8908	0.8233	1.08
Cd	0.0948	0.0935	1.01
Cdi	0.0392	0.0487	0.80
Cdp	0.0556	0.0448	1.24
Cl/Cd	9.4	8.81	1.07
PF	8.87	7.99	1.11
全機PF	5.81	5.21	1.12

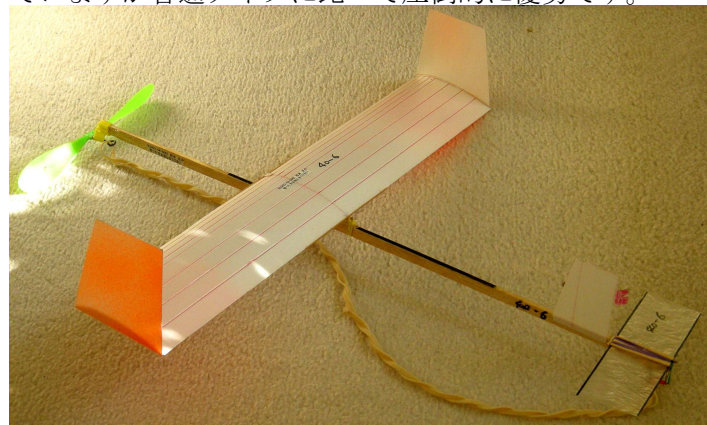
図3 上反角効果が等しいウイングレット翼とV翼（迎角5度 横滑り角5度）

R30 ライトプレーン

R30はグリーンパークフライヤーズ（GPF）のローカル機種でサイズ縦横30cm以下、空転プロペラ、地上発進の規定です。ウイングレットR30を写真に示します。

仕様・略図・構成の要点を図に示します。

昨年5月以来クラブの競技会や月例会、YSFの夏の大会などに参加していますが普通タイプに比べて圧倒的に優勢です。



A級ライトプレーン30W7.0機の仕様

R30と殆ど同じで、相違点は

スパン40cm、胴体長50cmで4mm*8mmバルサ胴

水平尾翼4cm*12.5cm

機体重量グラム

動力ゴム3.2mmループ（2条）のゴム3.56グラム

15cmツバメプロペラ（75%位置ピッチ角30度、P/D1.36に改造）

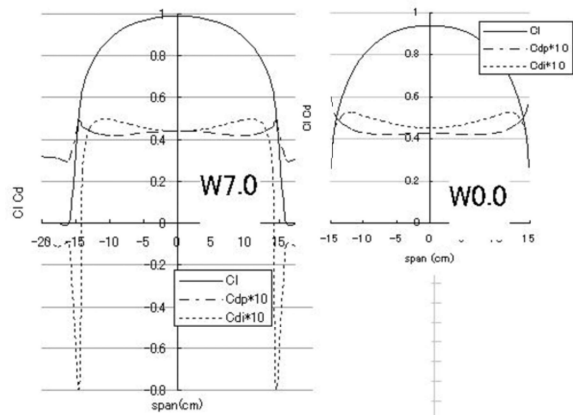
40W7.0の性能推定

（15cmプロペラに3.2mmループ（2条）のゴム3.56グラムを装備した）40W7.0のフル巻き数は90*25=2250回でその時のモーターランは80秒です。ゴムの巻き数がフル巻きの1/3の750回の場合、モーターランは30秒でその後の滑空時間は静気流で同じく30秒です。この滑空時間は昨秋9月の早朝何度も確認した数値です。1/3巻きの場合の動力ゴムの放出エネルギーはフル巻きの場合の約1/6より小さいので、安全を見てフル巻きでは1/3巻きの6倍の高度まで上昇すると仮定すると滑空時間は6倍になります。これらの数値からフル巻きの場合の滞空時間は

モーターラン80秒+30秒*6=260秒（4分20秒）

と推定できます。あくまでも上記仮定が正しいとしての話です。

上反角効果の説明



横滑りからの回復

ウイングレット翼の上反角効果の説明の前に、上反角効果とはどんなものか考えて見ます。

直進している機体が気流の乱れなどが原因で右翼を下げると、主翼揚力が右に傾き機体を右に動かす成分が発生します。これにより機体は右に引っ張られます。その結果の動きが横滑りです。横滑りを放置すると機体重量を支える上向きの成分が不足して高度ロス、さらに機体が気流に正対していないので抵抗も大きくなります。従って早急に正常姿勢に回復させる必要があります。姿勢回復に必要なのは傾きを戻す主翼の上反角効果と垂直尾翼です。

図2は解析対象翼 W7.0 が、右翼を下げて右前方に横滑りを行っている状況を上からと後から見たものである。機体が傾いた時その傾きを戻す働きが上反角効果ですが機体が傾いて上反角効果が働く様子を見て見ます。図で矢印は気流の向き、気流の向きを逆にすると機体の進行方向になります。①で通常の飛行をしている機体が右に傾くと主翼の揚力も右に傾きます。その結果として揚力に右向き成分が生じます。その結果右に押され機首を①の方向に保ちながら右前方に横滑りを始めます②。この時の様子を気流の方向から見たのが図の上の図です。右翼の迎角が左翼の迎角よりも大きくなっているのがわかります。この大きい迎角のため右翼の揚力が左翼の揚力より大きくなり、下がっていた右翼はもとの位置に戻りはじめます。これが上反角の働きです。これと同時に垂直尾翼には右前方から風が当たっているのので左に押され機首を右つまり進行方向に回します。このとき左翼は前進・右翼は後退するので左翼の揚力が増し、上反角効果の働きすぎを押さえてくれます。これらの働きがうまく作用しあって③つまり新しくバランスした姿勢で①より右向きに進行します。

