

定常翼機と後退翼機の飛行性能比較の試み

(中間報告)

平成 19 年 3 月 4 日

松戸ヒコーキクラブ 飛行性能研究 Project

代表 林 善明

< 緒言 >

我々紙ヒコーキ愛好者が絶えず念頭にあって離れぬ問題は、どうしたらヒコーキをうまく飛ばすことができるか、の一点に尽きる。経験的にいえば、できるだけ高く飛ばすこと、有効に旋回・滑空させ、或は設計・製作面で揚抗比をあげることにより、沈下率を小さくして滞空時間を稼ぐこと、上昇気流にうまく乗せること等々がその秘訣であることは分かっている。だが、飛行性能を決定付ける要因は何か、をフィールド実験で確認しようとするれば、設計ひとつとっても、翼形、水平尾翼容積値、翼断面(キャンバーetc)、アスペクト比、テーパー比、上半角、等々、影響すると考えられる要因が多々あり、これに製作要因や機体調整要因、気象条件等を加えたら、膨大な実験計画を組まなくてはならない。それは事実上不可能である。

そこで今回、当クラブの「飛行性能研究 Project」は、経験則で妥当とされている幾つかの条件は一定にした上で、飛行時間に大きく影響を及ぼすと思われる要因を大雑把に鷲掴みする、所謂「実験計画法」の考え方を採り入れて実験を試みることにした。そして、仮に結果が“想定内”とされていたことのダメ押しになっても、次回の実験に際して、その事実を与件として組み込むことが可能なので、寧ろそれを重要ステップであるとする孫子流の「迂直の計(遠回りしたようで結局早道につながる計略)」でいくことにした。研究室等で行われる風洞実験と異なり、フィールド実験には“想定外”の事実が頻発することが予想されるからである。

< 実験の動機 >

バルサ翼グライダーに於いては、模型飛行機クラブ「ランチャーズ」が催す首都圏記録会等を見ても、PLGトレーナー機の優秀性は疑うべくもないが、最近当クラブでは、各々の好みで翼形を変えてフライトを楽しむ光景が目立ってきた。筆者の好む「後退翼機」もそのうちの一つである。記録会で上位入賞を狙う諸兄の中にも、関心が高まっている。そこで、後退翼機がPLGトレーナー機(以下定常翼機)に比肩し得る翼形なのかどうか、「飛行性能研究 Project」の研究課題の一つとしてフィールド実験で採り上げてみることにした。

< 実験の目的 >

アスペクト比、テーパー比、 Sh/Sw を出来るだけ一定にした定常翼機と後退翼機を設計し、両機の設計上に現れる特異性、飛行パターンの相違性、特に飛行高度、飛行時間、安定性の優劣あるいは因子間の相関関係を定量的に調べる。同時に「観測項目」を決め、定性的なデータも採取して分析の補完に供する。尚、実際の競技では、機体の優秀性に加え、風を読み(地の利)機体の「くせ」を頭に入れて瞬時に飛ばし方を決める等のテクニック面も必要とされる。今回目的とする“優劣”には競技としての優劣は含まない。

< 機体の設計と特異性 >

今回の実験では、 V_h 値を 0.8、1.2 と大きく 2 分類し、定常翼機及び後退翼機の S_h / S_w 、 L_h / c 、そしてアスペクト比 (AR) を下表の通りに設定した。(図面は添付資料を参照して頂きたい)。尚、本稿では、 V_h 値の大きい方を大、小さい方を小と呼称する。

設計図に基き、製作に巧な 5 名が作成した機体の重心位置と重量を実測した。重心位置はほぼ設計値通りだったが、翼面荷重が大小機共に後退翼機が定常翼機に比して約 1.5 g / dm² 軽かった。この設計上に現れた特異性が、飛翔性にどう影響するかも関心課題となる。

< 定常翼機と後退翼機の特異性値 >

機種	V_h	S_h	S_w	S_h / S_w	L_h	c	L_h / c	AR	重心 (%)
	設計値	cm ²	cm ²		mm	mm			設計値
定常機大	1.23	38.5	113.2	0.34	170	47	3.6	5.1	75
後退翼大	1.20	36.5	107.5	0.34	165	46.5	3.5	5.2	90
定常機小	0.80	25.2	84.0	0.30	112	42	2.7	4.8	65
後退翼小	0.81	24.7	81.9	0.30	110	41	2.7	4.9	62

< 実験の前提と測定事項 >

1. 定常翼機及び後退翼機を V_h ごとに夫々 3 機体作り、3 回づつランダムに投擲して、高度・滞空時間を測定する。同時に、投擲方法(直線上げ、インメルマン上げ)、ツイスト・ピッチングの有無、滑空速度、失速高度 m 等を「観察項目」として、投擲者以外の者が評価する。
2. ゴムカタパルトは事前に用意し(2 g、幅 4.3 mm、長さ 48 cm) 投擲者全員が同一のカタパルトを使用する。
3. 高度測定には Roger Storm、NASA グレン研究センター設計の簡易測定器を使用する。
4. 風速は気象庁の風力階級の目安を参考にする。

気象庁の風力階級		
段 階	風 速	周辺の目安となる現象
階級 0	0.3m/秒未満	煙はまっすぐ昇る
階級 1	0.3 ~ 1.6m/秒	煙がなびく
階級 2	1.6 ~ 3.4m/秒	木の葉が動く
階級 3	3.4 ~ 5.5m/秒	小枝が絶えず動く

5. データ採取に際し、明らかな失投は除外し再投擲する。etc

以上を前提条件として、風速階級 2 以下の日及び風速階級 3 以上の日を選び、ランダム性を考慮した下表の順序で実験する。この表で、赤色は投擲順序、青色は機体名を表す。

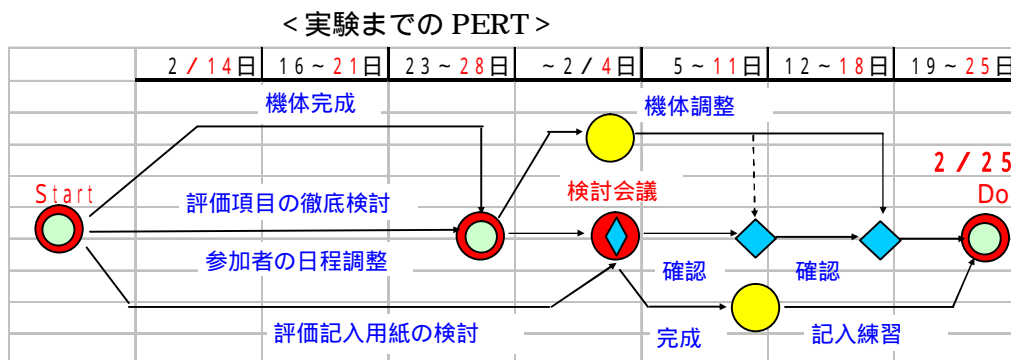
< 実験の割付けと投擲順序 >

機種	V_h	機体名			機体名			機体名		
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
定常翼大	1.23	1 K1	16 K1	25 K1	5 S1	20 S1	29 S1	9 S2	24 S2	33 S2
定常翼小	0.80	2 S3	15 S3	26 S3	6 K2	19 K2	30 K2	10 S4	23 S4	34 S4
後退翼大	1.20	3 Y1	14 Y1	27 Y1	7 M1	18 M1	31 M1	11 H1	22 H1	35 H1
後退翼小	0.81	4 M2	13 M2	28 M2	8 H2	17 H2	32 H2	12 Y2	21 Y2	36 Y2

<実験までのスケジュールと実施>

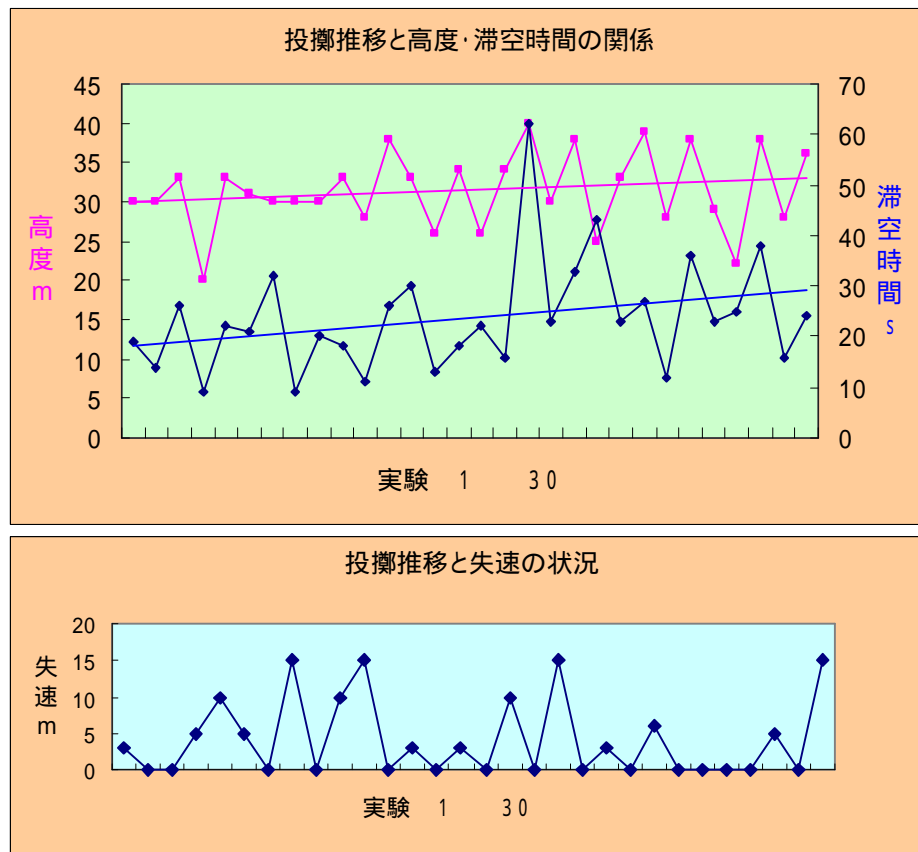
実験場所は東京都葛飾区水元公園と決め、下図 PERT に従って準備を進めた。 25 日当日は気温 6 ~ 7 度、風速は階級 3 以上。気流の乱れが断続的に起こり、失速降下に悩まされた。実験順序に従い 12 回続けて投擲を行い、休憩タイムと各自が機体調整する時間を含め 15 分間設けた。それを都合 3 回繰り返して、午前 9 時に開始して 12 時に終了した。

予想した通りのハプニングが起こり、休憩時の機体調整中に機体が気流に乗って紛失したり、破壊したりして 36 回予定のデータが 30 回に止まったことは残念である。実験結果は本稿ページ末に添付した。

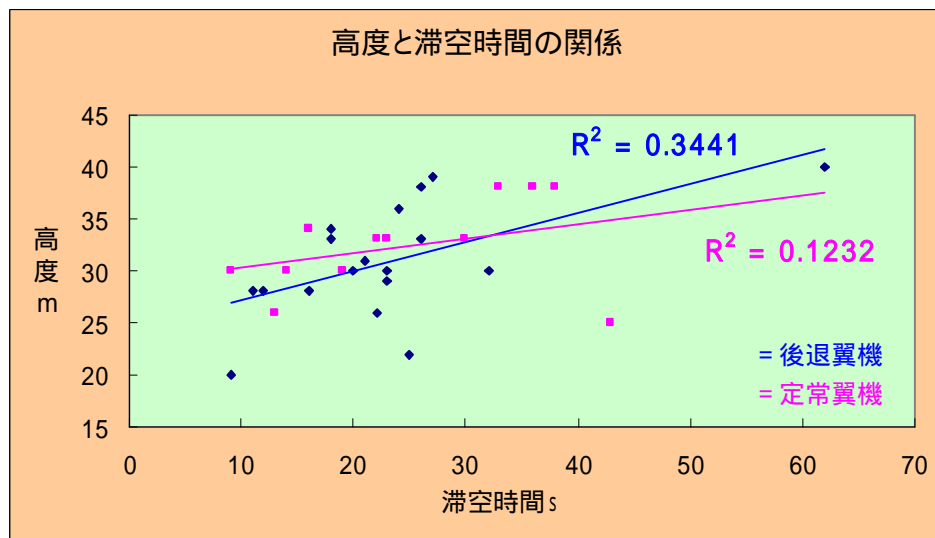


<データの分析>

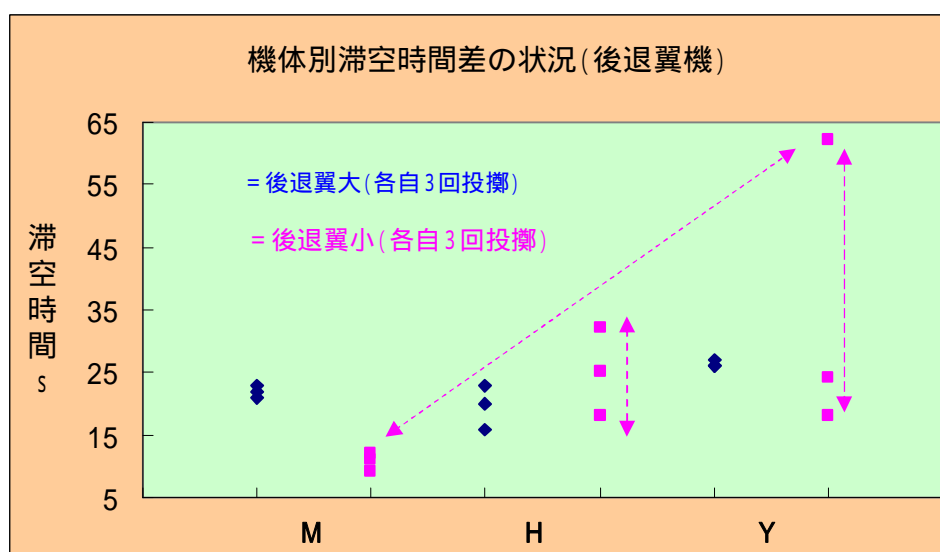
投擲順序による影響が見られた。 後半になるほど高度、特に滞空時間が上昇している。又、失速状況も緩和されている。気温の変化や機体調整・投擲の慣れが原因と思われる。実験の計画段階で、投擲順序にランダム性を考慮しているので、特定の機体への偏りは事前に防止されている。「実験計画法」でデータの有効性を担保したことは正解だった。



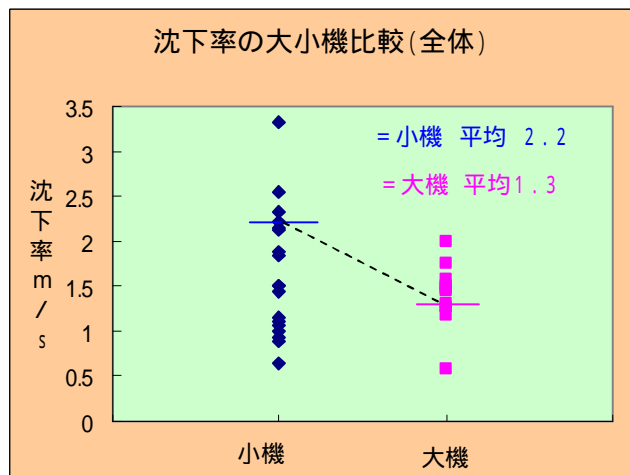
高度と滞空時間には緩い相関関係がみられた。 特にデータ数が十分採取された後退翼に限れば、相関係数 0.6 でその傾向が顕著に現れている。今回は強風乱流下かつ、一機体ごとの調整が不十分な状態でのデータなので、到達高度に比して、滞空時間はかなり低めになっている。次回の無風状態ではどのような結果になるか注目される。尚、活動拠点である「21世紀の森と広場」での調整段階では、滞空時間は40秒前後をクリアしていた。



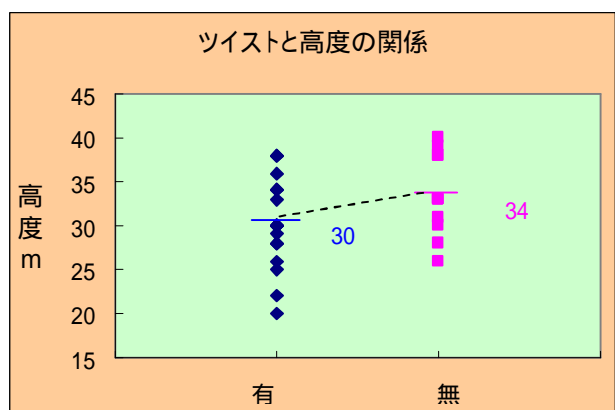
製作上での機体格差が顕著に現れた。 下図はデータの揃った後退翼大小機の製作者別機体（同じ機体を3回ずつランダムに投擲している）及び機体間に於ける滞空時間をグラフ化したものである。製作者同一の同機体であっても、又、他者機体間に於いても、滞空時間差が大きくバラつく事実が明瞭に出た。特に小型機のバラツキが大きかった。発射時の気象条件、機体の完成度と調整状態、発射方法等が飛翔性に大きく依存していることをダメ推す結果となった。爾後、飛翔性能実験を行う際、最も留意すべき点であろう。



機体の大きさと沈下率 機体製作後に個々の機体の重量を実測した際、大小機の重量差は、定常翼機が約 2.9 g、後退翼機では約 2.2 g であった。又、翼面荷重差は共に 0.8 / d m²。これがどう影響したか。右図は両翼機全体の比較であるが、両翼を層別した場合も小機の方が沈下率が大きかった。今回の気象条件が影響しているのか、無風状態ではどうか、次回の実験結果で改めて推究してみたい。



ツイストと高度の関係 上空に投擲した際、機体が真直ぐ上昇せず、90度或は180度回転したりするケースが過半数あった。原因は機体自体の精度不良、投擲操作ミス、そして気象条件などが影響する。何らかのツイストがあった場合を有、ツイストの全く起こらなかった場合を無と層別して図示したのが右図である。統計的な有意差は無いが、傾向として、やはりツイストによる高度損失があることを裏付けている。



インメルマン効果について 周知の通り、正式名称は「インメルマンターン」。マックス・インメルマンが考えた方向転換法で、垂直上昇した後、頂点で減速して背面に入り、かつ姿勢を180度転換して再び水平に戻す機動のことをいう。投擲法にも垂直上げとインメルマン上げがある。今回の実験で、結果としてインメルマンになったものを含めると右表がその全データである。

機種	機体名	高度m	滞空s	失速m
後退翼小	H 2	30	32	無
後退翼小	Y 2	33	18	10 m
後退翼小	Y 2	40	62	無
後退翼小	Y 2	36	24	15 m
後退翼大	M 1	29	23	無
定常翼小	S 3	33	30	3 m
平均		34	32	
全機平均		31	24	

6機の平均値を全機平均値と比較すると、高度、滞空時間共にインメルマン投擲が行われた方が上回っていた。特に滞空時間に於いて好成績を出したようである。

インメルマンの6分の4機が後退翼機小で占められていた。失速の影響を補完して鑑みると、後退翼小にはこの投擲法が有利に思われる。大機も1機あるが、直進性が強く、背面に入らず、正転 滑空状態に移行しているケースが多かった。L hの大小にも関係しているようだ。

経験によれば、後退翼機は調整・投擲が完璧であればインメルマンの出現頻度が高まる。定常翼は垂直上げ、後退翼にはインメルマンという分類が出来そうだ。今後の課題としたい。

< 現段階での結論 >

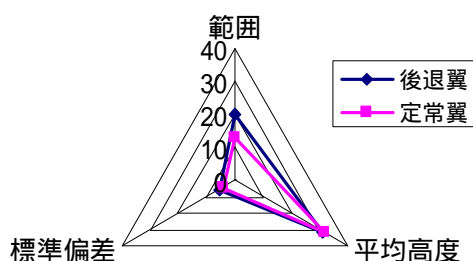
以上フィールド実験で判明した側面的事実を列挙してみた。“想定内”の範囲を出ない常識的事実のダメ押しとなったが、フィールド実験でそれを確認できた意義は大きい。しかも又、その中に、飛翔性能を左右する重要な幾つかのヒントを散見できたことが今回の実験での収穫である。機体の調整には十分な時間を割くことが必要なことは言うまでもないが、一例をあげれば、投擲法にも機種ごとの適性があることの再認識である。例えば、後退翼機にはインメルマン投擲の熟練・完璧化が飛翔性能を比較する際の基本的前提となるのではないかという点などである。観察項目をさらにきめ細かく検討することも、爾後の重要課題となった。

最後になったが、今回の実験の目的である定常翼機と後退翼機の高度及び滞空時間の優劣について現段階での結論を述べておく。全データを機種別に層別して基本統計量を算出してみたのが下の比較表並びにレーダーチャートである。

これによると、高度及び滞空時間に個々のデータとしてみれば、機種別に範囲差（＝最大値－最小値）はみられるものゝ、母集団としての平均値や標準偏差には殆ど差が見られない。すなわち、今回行った条件下に於いては、定常翼機と後退翼機の優劣は有意差が無かった、と結論付けられる。データ個々にバラツキはあっても、ランダム投擲によってデータの偏りを避け、データ数ある程度集めたことで、結論の信憑性はほぼ担保されていると言っていいだろう。

< 定常翼機と後退翼機の高度比較 >

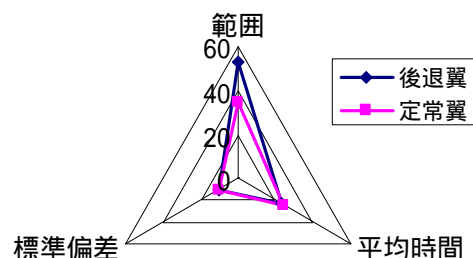
定常翼機		後退翼機	
平均	32	平均	31
中央値	33	中央値	30
最頻値	30	最頻値	30
標準偏差	4	標準偏差	5
分散	19	分散	29
範囲	13	範囲	20
最小	25	最小	20
最大	38	最大	40
標本数	12	標本数	18



定常翼機と後退翼機の平均高度比較

< 定常翼機と後退翼機の滞空時間比較 >

定常翼機		後退翼機	
平均	25	平均	23
中央値	23	中央値	23
最頻値		最頻値	23
標準偏差	11	標準偏差	11
分散	123	分散	130
範囲	34	範囲	53
最小	9	最小	9
最大	43	最大	62
標本数	12	標本数	18



定常翼機と後退翼機の平均滞空時間比較

今回の実験は、所謂「L8型直交表」の片割れともいえる「L4型」部分の中間報告である。即ち、風速階級3以上の厳しい条件下での実験結果であった。風速階級2以下の実験が残っている。今回の成果を十分念頭に置き、引き続き研究を進めたいと考えている。

尚、「飛翔性能研究 Project」メンバーとその役割分担は以下の通りである。計画の段階から長期間に亘って参画してくれた各位の労に厚く御礼申上げたい。

製作・飛翔性評価：杉本春吉、工藤陽久、横尾金蔵、村上守、林善明

記録：梅沢久男 飛翔時間測定：成島久雄、広瀬光紀 高度測定：井上恵弼、森田琢夫
以上

添付資料

< 実験データ >

実験	機種	機体名	高度m	滞空s	沈下率	観測項目				
						投擲方法	ツイスト	ピッチング	速度	失速m
1	定常翼大	k1	30	19	1.58	直線	一回転	小	低速	3m
2	定常翼小	S3	30	14	2.14	直線	2、3回転	小	低速	
3	後退翼大	Y1	33	26	1.27	直線	無	無	低速	
4	後退翼小	M2	20	9	2.22	直線	90度	中	低速	2回
5	定常翼小	K2	33	22	1.50	直線	無	無	低速	10m
6	後退翼大	M1	31	21	1.48	直線	無	小	低速	5m
7	後退翼小	H2	30	32	0.94	インメルマン	2回	小	低速	無
8	定常翼小	S4	30	9	3.33	直線	無	小	低速	15m
9	後退翼大	H1	30	20	1.50	直線	90度	無	低速	無
10	後退翼小	Y2	33	18	1.83	インメルマン	無	小	低速	10m
11	後退翼小	M2	28	11	2.55	直線	90度	小	中速	15m
12	後退翼大	Y1	38	26	1.46	直線	無	小	低速	無
13	定常翼小	S3	33	30	1.10	インメルマン	無	中	中速	3m
14	定常翼大	K1	26	13	2.00	直線	180度	小	低速	無
15	後退翼小	H2	34	18	1.89	直線	90度	小	低速	3m
16	後退翼大	M1	26	22	1.18	直線	無	中	低速	無
17	定常翼小	K2	34	16	2.13	直線	一回転	中	低速	10m
18	後退翼小	Y2	40	62	0.65	インメルマン	無	無	低速	無
19	後退翼大	H1	30	23	1.30	直線	90度	無	低速	15m
20	定常翼小	S4	38	33	1.15					
21	定常翼大	K1	25	43	0.58	直線	180度	無	低速	
22	定常翼小	S3	33	23	1.43	直線	一回転	小	低速	3m
23	後退翼大	Y1	39	27	1.44	直線	無	無	低速	無
24	後退翼小	M2	28	12	2.33	直線	無	無	低速	6m
25	定常翼小	K2	38	36	1.06	直線	90度	無	低速	無
26	後退翼大	M1	29	23	1.26	インメルマン	90度	無	低速	無
27	後退翼小	H2	22	25	0.88	直線	90度	無	低速	無
28	定常翼小	S4	38	38	1.00	直線	一回転	小	低速	5m
29	後退翼大	H1	28	16	1.75	直線	90度	無	低速	無
30	後退翼小	Y2	36	24	1.50	インメルマン	90度	大中小	低速	15m