

《女性用人力飛行機の上昇方法 “ジャンピング・クライム” 法に関する考察》

CHICK - 2000 プロジェクトチーム

“アクティブガールズ”

○(株)浅沼組 吉川俊明

郵船トラベル(株) 堀 琴乃

我々が実践している、女性用人力飛行機の上昇方法 “ジャンピング・クライム” 法について発表する。

女性用の人力飛行機のパイロットにとって、離陸とそれに続く上昇は、一連の飛行の中で最大のパワーを必要とする最も苦しい瞬間である。女性パイロットによる人力飛行では、男性パイロットに比べて半分にも満たないパワーと、僅か数分の一しかない持続時間で、か弱いエネルギーをどのように有効利用するかで、獲得高度が決まる。一般航空機では、滑らかな巡航上昇が望ましいが、人力飛行機のか弱い女性パイロットにとっては、この上昇方法は、必ずしも効率的な方法とは限らない。人体エンジンによる“パワーと持続時間”の観点からは、離陸滑走から上昇飛行・水平飛行・旋回飛行等の飛行姿勢の変化に関わらず、費やすパワーを常に一定に保つ事が有効と考えられる。我々のチームでは、かつて人力飛行に成功した時から、上昇中に過大なパワーが必要にならないよう、女性パイロットがより少ない疲労で効率的に上昇できる“ジャンピング・クライム”法を考案し、実践していた。

巡航上昇と“ジャンピング・クライム”法による上昇を、必要パワーと必要エネルギーの観点から解析し、現在トレーニング中の堀琴乃の“パワーと持続時間”の測定を基に、飛行時間や飛行距離を比較した。その結果、“ジャンピング・クライム”法の有効性が確認できたので、ここに報告する。

【OHP-1】

Fig 1.

まず、巡航上昇飛行時の必要パワーを見積る。

我々が現在計画中の女性用人力飛行機“CHICK - 2000”を例に、定常水平飛行と巡航上昇飛行の必要パワーを比較する。“CHICK - 2000”は、定常飛行で、速度が毎秒7.5 (m)、重量73 (kg)、L/Dmax が4.1である。上昇中の力の吊り合いを Figure 2. に示す。ここで、抗力は、水平飛行中には1.8 (kg)しか無いが、僅か1°の上昇角をとるだけで、機体重量の斜め下向きの成分が加わり、70%増しの3 (kg)に増える。2°の上昇角では、何と140%増しになり、4 (kg)を越える。

その時の必要パワーのカーブを Figure 3. に示す。水平飛行では150 (watt)で済んだパワーが、上昇角1°で256 (watt)、2°では362 (watt)に跳ね上がる。

【OHP-2】

Fig 2.

Fig 3

これだけ必要な推力が増えると、定常状態で設計したプロペラで対応可能かと言う問題が生じる。グラフに“CHICK - 2000”のプロペラのペダル回転数と推力を Figure 2. に表す。定常状態では、ペダル90回転、プロペラ143回転で設計しているが、上昇角2°では、ペダル120回転、プロペラ190回転が必要になる。普段の体力トレーニングは、定常飛行を想定して行っているの、とても対応できない高回転数とハイパワーが要求されることになる。

Fig 2.

従って、巡航上昇飛行は、パイロットにとって水平飛行に比べると、非常に過酷な運動を強いることがわかる。人体エンジンによる“パワーと持続時間”の観点から、パイロットにとって、運動の初期、つまり、離陸から上昇に続くペダリングは、後に続く飛行の大半を占める水平飛行のペダリングに比較して、水平飛行の約200%と言う極端に大きな負担が掛かることになり、体内の乳酸の蓄積や消却の状況、心肺機能に与える影響から考えても、効率的なエネルギーの消

費方法ではないことがわかる。

“ジャンピング・クライム”法の原理を説明する。

非定常上昇飛行方法に、

一定パワーで水平飛行を継続し、水平飛行の維持に余剰なエネルギーによって機体を増速させ、それを運動エネルギーとして蓄積し、入力パワーを変更させずに、蓄積した運動エネルギーを位置エネルギーに変換することによって、高度を獲得する上昇方法がある。つまり、運動エネルギーを位置エネルギーに変えて上昇する方法である。戦前の飛行機でエンジンのパワーに余裕がなかった頃、よく見受けられた上昇方法である。

現状の人力機の飛行高度は、一般に10(m)以下である。多くは5(m)以下の地面効果を有効に利用できる高度を飛行している。我々が考案・実践している“ジャンピング・クライム”法は、戦前の機体に見られた非定常上昇飛行方法に、更に地面効果の有効利用を付け加えた上昇方法である。地面効果は、運動エネルギーの蓄積に、大きく貢献する。

*** “ジャンピング・クライム”法による上昇のビデオ ***

“ジャンピング・クライム”法による上昇手順を説明する。

目標高度を5(m)として、離陸の瞬間を含んで3~4回のジャンプでその高度に到達することを目標にしている。我々の経験では、一回のジャンプで約1(m)の高度を獲得し、ジャンプに要する時間は1~1.5秒が良いと考えている。

まず、水平飛行で“ジャンピング・クライム”が可能なパワーに入力パワーを調整し、機体は水平飛行を維持したまま、飛行速度を増速する。そして、所定の速度に達すると、滑らかな上げ舵で機体を上昇させる。所定の高度に上昇する直前に、下げ舵による当て舵で、機体を水平に戻す。一定のパワーを維持して、水平飛行を継続し、機体を再び増速させる。予定の高度に達するまで、水平飛行による増速と、減速を伴う上昇を繰り返す。

“ジャンピング・クライム”法の特徴を説明する。

機体の上昇は、<力学的エネルギー保存の法則>に従い、運動エネルギーを位置エネルギーに変換して上昇する。

パイロットは、一定のペダル回転数と、一定負荷による一定出力を継続して上昇するので、体力の消耗を最小限に迎える事ができる。

位置エネルギーの蓄積は、一般の人力飛行機が飛行する低高度では、地面効果を有効に活用できるので、高効率な蓄積が可能になる。

高度の獲得に伴い、飛行速度を失う。上昇中、失速に対する危険が増すので、注意が必要である。

高度獲得の上昇角6~7°の上昇は、1~1.5秒程度の短時間で行うが、わずかな操縦ミスが過大な空気抵抗の増加に起因するパワー・ロスにつながる為、ジャンプの間の姿勢制御や保持には特に慎重を要する。

高度の獲得に伴い地面効果が減少するため、増速に要する時間が増す。上昇高度が5(m)程度までの“ジャンピング・クライム”は、大きな地面効果を有効に活用した高効率な上昇ができる。

5(m)以上の高度では特に大きな地面効果は期待できないものの、人力飛行パイロットにとって、“ジャンピング・クライム”法による上昇は、人体エンジンによる“パワーと持続時間”の観点から、巡航上昇に比べて体力の消耗の少ない効率的な上昇を可能にする。

【OHP-3】

Fig 4.

Fig 5.

【OHP-4】

Fig 6.

巡航上昇と“ジャンピング・クライム”における必要パワーと必要エネルギーの解析方法を説明する。

計算に用いた女性用人力飛行機“CHICK-2000”のパラメーターを以下に示す。

翼長 26.3 (m), 主翼面積 16.1 (m²), 重量 73.0 (kg),
主翼のアスペクト比 43.0, 水平飛行速度 7.5 (m/sec),
最良滑空比 41.0, 効率 0.8, として計算した。

【OHP-5】

Fig 7.

地面効果を考慮した有効アスペクト比は、次式によった。

$$AR_{eh} = AR_e \{1 + 33(h/b)^{3/2}\} / 33(h/b)^{3/2}$$

“CHICK-2000”の地面効果を含まないアスペクト比と地面効果を考慮した有効アスペクト比の比較を [Figure 9](#) に示す。高度5 (m) くらいまでは、地面効果が顕著に現れる。

【OHP-6】

Fig 8.

Fig 9.

必要パワーと必要エネルギーの算出は、前刷り原稿を参照願いたい。

“ジャンピング・クライム”法による上昇の場合、運動エネルギーを位置エネルギーに変換する時の計算について、上昇時の姿勢変化によるエネルギーのロスを20%見込んでいる。上昇前のエネルギーの80%が、上昇後のエネルギーに変換する事としている。前刷り原稿にそれが抜けているので、訂正する。

80%のエネルギーの変換効率は、実測値と良く整合している。上昇時の姿勢変化と速度変化は、ビデオ分析によった。現在は、縦方向の運動方程式を基にしたシミュレーションプログラムを用いて、整合性も確認中である。

【OHP-7】

Fig 10.

地面効果を考慮した定常水平飛行と、上昇角1°の巡航上昇時の必要パワーを比較する。水平飛行では、100 (watt) からせいぜい140 (watt) で飛べるが、僅か1°の上昇角を維持するだけで、必要パワーは200から250 (watt) にまで跳ね上る。上昇に如何にパワーを食うか、如何に注意が必要かが解る。

Fig 11.

巡航上昇と“ジャンピング・クライム”法による上昇について、各々、地面効果のない場合とある場合の二通りについて計算した。

機体停止時の主翼の高さは1.6 (m) としている。

飛行距離と獲得高度を比較する。

地面効果を考慮すると、1°の巡航上昇では、出発後236.7 (m) で高度5 (m) を獲得できるが、“ジャンピング・クライム”では、388.4 (m) が必要である。

必要エネルギーを比較すると、巡航上昇が、7487ジュールに対し、“ジャンピング・クライム”では、9905ジュール必要である。

必要時間については、巡航上昇が、36.3秒で高度5 (m) に達するが、“ジャンピング・クライム”では、52.6秒必要である。

参考に、“ジャンピング・クライム”法による上昇飛行中の飛行速度の変化と揚力係数の変化を [Figure 15](#) に示す。

【OHP-8】

Fig 12.

Fig 13.

【OHP-9】

Fig 14.

Fig 15.

以上の説明では、“ジャンピング・クライム”より巡航上昇が有利になる。そこで、人体エンジンによる“パワーと持続時間”を考慮した飛行距離を検討する。

“CHICK-2000”の女性パイロット：堀琴乃の“パワーと持続時間”から、高度5 (m) まで上昇した場合の飛行距離を比較した。

パイロットの“パワーと持続時間”を [Figure 16](#) に示す。

【OHP-10】

Fig 16.

この時間は、任意の一定パワーを継続した場合の持続時間である。

Figure 17は、巡航上昇で高度を獲得し、定常飛行に移行する上昇パターンを想定し、途中で出力パワーを変化させた場合の持続時間である。巡航上昇で 1° の上昇角を想定し、230 (watt) で30秒後、180 (watt) に変化させて、その持続時間を測定した。これは、測定中に負荷の変化が可能なエルゴメーターを用いた実測値である。

Fig 17.

これらのエネルギーを比較する。パワーが180 (watt) で一定の時は、71640ジュールの仕事ができる。230 (watt) から180 (watt) にパワーが変化すると、47580ジュールの仕事しかできない。34%も仕事量がドロップしている。これが人体エンジンの“パワーと持続時間”を考慮した場合の結果を左右するポイントである。

Fig 18.

以上を基に、5 (m) まで上昇する場合の飛行距離を比較した。

いずれの場合も、パイロットが疲労困憊 (ALL OUT) する20秒前に、水平飛行から滑らかな降下に移り、着陸するものとした。降下はプロペラの影響を無視し、地面効果を有効に活躍して滑空、着陸するものと仮定した。

【OHP-11】

Fig 19.

飛行距離の比較をグラフに示す。

巡航上昇の場合で2088 (m) “ジャンピング・クライム” の場合で3094 (m) という結果がでた。“ジャンピング・クライム” が巡航上昇に比べて48%増しの距離を飛行している。

以上を考察し、まとめる。

高度5 (m) の上昇に要するエネルギーは、地面効果を考慮した巡航上昇で7458ジュール、“ジャンピング・クライム” で9905ジュールである。“ジャンピング・クライム” による上昇方法が、巡航上昇に比べて33%増しのエネルギーを費やす。

【OHP-12】

しかし、人体エンジンによる“パワーと持続時間”を考慮した飛行距離では、出力パワーの持続時間が逆転し、巡航上昇の場合で2088 (m) “ジャンピング・クライム” の場合で3094 (m) となる。“ジャンピング・クライム” による上昇方法が巡航上昇に比べて48%増しの距離を飛行できる。

これは、

人体エンジンによる“パワーと持続時間”の観点から、出力パワーが変化しない単一パワーの場合と、出力パワーが変化する複合パワーの場合では、パイロットがALL OUTに達するまでの総エネルギー量は等しくならない。

一般に、出力パワーが変化し、パイロットにとってハイパワー・レベルのメニューが組み込まれた場合の複合パワーによる総エネルギー量は、単一パワーのそれに比べて減少する。

一般に、体カトレーニングにおける特異性の原理にも一因していると思われる。

等の理由に起因していると考えられる。

Fig 20.

“ジャンピング・クライム” 法による上昇の留意点を掲げる。

- (1) 1回のジャンプは、パイロットのパワーと操縦の技量に左右されるが、姿勢の保持や失速に対する安全性、エネルギーの蓄積と変換の観点から、概ね1~1.5 (m) が適当と考えている。
- (2) ジャンプ時の上昇角は最大で $7\sim 8^\circ$ にすべきだと考える。これは、昇降舵の過大な操舵による抵抗の増大を考慮してである。
- (3) 姿勢制御に関して、上昇中のローリングやヨーイングの制御は、エネルギーの変換効率を著

Fig 21.

しく低下させる。上昇中は、機体を向かい風に正対させ、ピッチング制御に専念すべきである。

ここでは“ジャンピング・クライム”法による上昇方法の解析を行い、その有効性について報告した。我が国の女性パイロットによる人力飛行は、わずか2例にすぎない。上昇飛行・旋回飛行とこれからの課題が山積みされている。

今後の女性パイロットによる人力飛行の一助になれば幸いである。