

Uコン技術 (その2)

○ 吉川俊明 (スカイスポーツラボ)

Case study of fuel tanks used for control-line model aircraft

Toshiaki Yoshikawa (Skysports Labo)

Key Word : Control-line model aircraft, Centrifugal force, Fuel tank

Abstract

The control-line model aircraft fly on the hemispherical surface whose radius is the length of the control wire. Centrifugal force acts on the aircraft. Therefore, various measures are required for the fuel tank. This is a consideration of the fuel tank used for the control-line model aircraft.

1. はじめに

Uコン技術 (その1) ; 第 18 回スカイスポーツシンポジウム では、Uコン機について紹介するとともに、飛行における基本的な問題と対策を紹介した。

Uコン機は、パイロットの手首がコントロールハンドルとワイヤーを介して模型飛行機に繋がっている。機体はパイロットの周囲を巡回飛行する。そのとき生じるワイヤーの空気抵抗に打ち勝って、安定して飛行するために必要な吊り合いを維持する方法について概説した。

ここでは、スタント (アクロバット飛行) 機の飛行に必要なエンジンの回転の安定を維持する方法を紹介する。

2. Uコンのスタント機

スタント機とは、コントロールワイヤーを半径とする半球面上において、定められた規定に従って曲技飛行を行い、その精度を競う競技用曲技機である。上昇と降下を基本に、正宙返りや逆宙返り、宙返りの最中に、その回転半径を極度に小さくした急旋回による角を設定した四角宙返りや三角宙返り、更にそれらを組み合わせで連続させた四角横 8 の字や縦三角 8 の字等、難易度の高い曲技飛行を行う。

競技は、FAI にも規定され (FAI F2B)、世界選手権大会も開催されている。今年は 7 月にフランスで開催され、我国はチーム優勝に輝いた。



写真-1 FAI-F2B チーム優勝に輝いた日本チーム

2.1 スタント機の動力

スタント機に使われる動力は、エンジンと電動モーターに大別できる。電動モーターは近年のブラシレスモーターとバッテリーの著しい発達による有望なパワーソースであ

る。ここでは昔なじみのエンジンについて説明する。電動モーターについては別途とし、あらためて説明する。

一般に模型飛行機のエンジンには、グローエンジンと呼ばれる小型の模型用エンジンを用いる。2 サイクルと 4 サイクルのレシプロタイプが主流で、ロータリーエンジンも稀に使われる。グロープラグを用いて点火～運転することから、グローエンジンと呼ばれる。イグニッションコイルを使ってスパーク式プラグで点火～運転するエンジンと異なり、グロープラグ (glow : 輝く、電熱式コイルヒーターにより余熱点火) を用いる。ディーゼルエンジンは圧縮点火して始動～運転するが、グローエンジンは、ディーゼルエンジン程圧縮比が高くないので、始動後も余熱点火を継続して運転する。焼玉エンジンに似ていると思われがちだが、燃焼室の形に相違があり、焼玉エンジンは焼玉内でガスの混合と点火を行う。

グローエンジンは、グロープラグによる点火で連続運転することから、出力の上昇と降下に独特の特徴を持つ。混合ガスを高濃度にする、プラグが混合気で冷やされて、燃焼が不完全 (= 爆発力が低下) となり出力が低下、低濃度にする、グロープラグが冷えない (= プラグが輝く) ので燃焼効率が改善して出力が上昇する。出力は、グロープラグの輝き (= コイルの温度) に依存する。

燃料はメタノールを主材に、潤滑剤に合成オイルやヒマシ油、パワーアップのためにニトロメタンを添加する。エンジンの種類や扱い方によって異なるが、それぞれの重量比率は、おおよそ 65~70 : 25 : 5~10 % 前後である。

その他、軽量化とシステムの簡易化のために燃料供給を停止する装置を備えていない (停止装置を付けるメリットが無い) ので、一度エンジンを始動させる、燃料を使い切るまで運転が継続する。

2.2 燃料タンクに要求される性能

スタント機は、半球面上のあらゆる範囲を使って 15 規定の曲技飛行を表現する。制御の観点から、コントロールワイヤーに安定した張力が得やすい風下側で演技することが多い。飛行速度は、パイロットの好みや技量にもよるが、風向や風速、機体の姿勢に関わらず、飛行速度の変化による舵の効きの変化を最小限に抑制するために、一定を維持することが望ましい。例えば、逆ウイングオーバーでは、

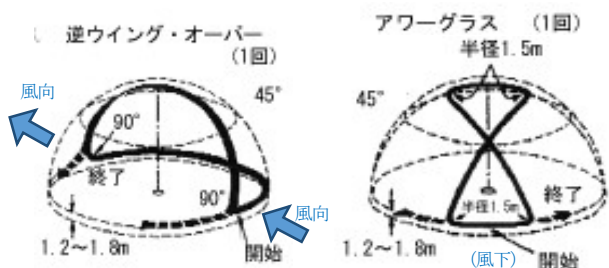


図-1 曲技飛行の例 FAI-F2B
 曲技は風下側で行う。アワーグラスは 120° 旋回を 4 回連続

定常飛行 → 風上から垂直上昇 [追い風] → 頭上通過 → 垂直降下 → 風下で背面姿勢に引き起こして半周の背面水平 [向い風] → 再び、風上から垂直上昇 [追い風] → 頭上通過 → 垂直降下 → 風下で水平に引き起こし [向い風] → 定常飛行に戻る。三角宙返りや縦三角 8 の字 (アワーグラス) では、定常飛行からピッチ角 120° の鋭角旋回を行う上昇に始まる。

このように刻々と機体の進行方向や姿勢、加速度が変化する約 6 分の飛行時間を通して、エンジンの回転の安定を保つには、機体の姿勢に関わらず燃料タンクから供給される燃料の供給圧力を一定に維持する必要がある。ところが、液面は満タンからカラまで変化するので、供給圧力も同様に变化する。円周飛行による加速度に急激な姿勢変化が加わり、機体に作用する加速度とその方向が連続的に変化する。これは、燃料タンク内の燃料に直接作用する。

2.3 燃料消費に伴い発生する問題

燃料タンク内の燃料の減少による供給圧力の低下は、混合ガス濃度を低下させ、グロープラグが冷えない (= プラグが輝く) ので燃焼効率が改善してエンジンの出力 (= 回転数) が上昇する。飛行速度が上がると、それに従って舵の効きも敏感になり、円滑な制御に支障をきたす。また混合ガス濃度の低下が継続すると、高温と潤滑不足からエンジンが焼け付くことすらある。

曲技飛行の最初の演技は逆ウイングオーバーで、これは高さ 1.5 m の水平飛行から垂直上昇してパイロットの頭上を通過させることに始まる。垂直上昇は、プロペラの推力だけで機体を垂直に持ち上げるために、十分な推力が必要である。つまり、全ての演技を通して必要な最大出力が、離陸直後から要求される。従って、エンジンの回転数が燃料の消費に合わせて上昇すると、最後の演技では不必要な高速回転、高速飛行に陥り、円滑な制御が困難になる。

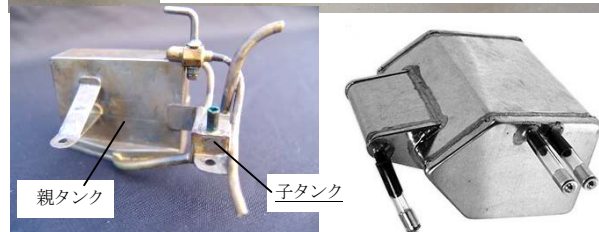
2.4 燃料タンク断面の変遷

燃料を円滑に供給するために様々な型式の燃料タンクが考案された。

当初は所望の搭載量を確保するために、断面を矩形にしてタンクのサイズの最小化を図った。タンク長の最短化は、機体の重心位置の移動の抑制に重要な要素である。この型式のタンクは、最後まで燃料を使い切れないことに加え、水平飛行中でも機体が偏揺れしていることから、エンジンが停止する直前に燃料供給が不安定になり、高速回転に加えて息切れを繰り返す欠点があった。



ウエッジ (汎用楔型) タンク 右端は後絞り型



下左: 親子式タンク 下右: チキンホッパータンク
 写真-2 代表的な燃料タンク



写真-3 鳥の自動給水器(チキンホッパー)

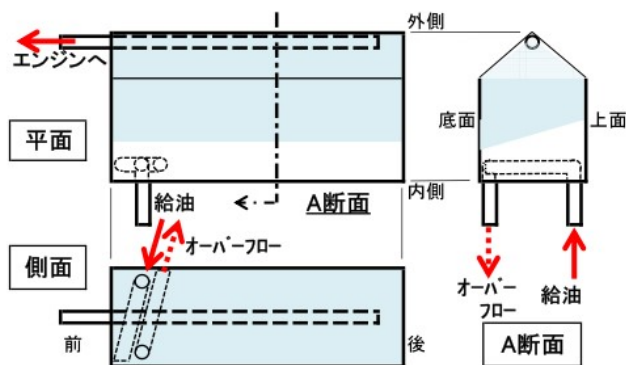


図-2 ウエッジタンク (汎用楔型) の三面図

そこで、燃料の安定した供給が可能のように、断面が楔型のウエッジタンクが考案された。それにより、燃料を使い切ることが可能になったが、供給圧力の変化は、液面の変化に従った。

供給圧力の変化を解決するために様々な工夫が試みられた。供給圧力の変化 (= 液面変化) の影響を最小に抑制するべく、鳥の給水器の原理に基づいた親子式タンク (= チキンホッパータンク) が考案された。エンジンへの燃料供給は小タンクから行われ、親タンクは小タンクが消費した燃料を供給する。このタンクには、工作が煩雑で子タンクのスペースが必要な欠点があった (写真-2 下左)。

それは、ユニフロータンクの出現により解決された。原理と機能はチキンホッパータンクと同様ながら、製作の容易さと汎用タンクと同一スペースで容積が確保できることから、多くのスタントマニアに愛用されている。

3. タンク内の燃料の液面傾斜角

3.1 燃料に作用する加速度

飛行中の機体には、周回飛行による遠心力と重力の2方向の加速度が作用する。その合力がタンク内の燃料にも作用する。燃料は、消費により液面が変化すること、液体であるので加速度の変化によってタンク内を前後左右に移動する点が機体や燃料タンクと異なる。

飛行中の力の釣り合いは、遠心力=向心力 である。以下に、スタント機の燃料タンク内の液面勾配を求める。

$$F = m\alpha$$

$$\alpha = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$$

ここに、F：遠心力、m：機体の質量 (kg)

α ：加速度 (m/sec²)、r：円の半径 (m)

ω ：飛行角速度 (rad)、v：飛行速度 (m/sec)

等速で円周飛行する機体に作用する加速度: α は、飛行速度：v の自乗に比例、飛行半径：r に反比例する。

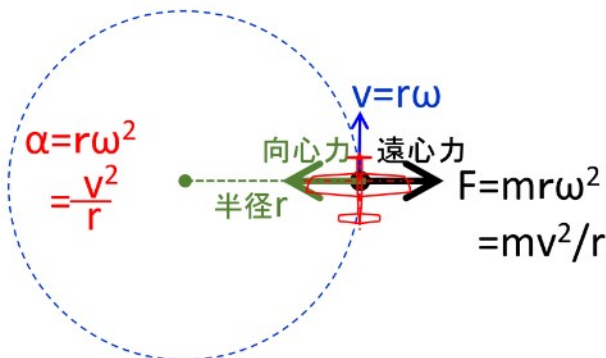


図-3 円周飛行中の力の釣り合い

3.2 燃料の液面角

飛行中の燃料の液面角： A_{L0} (水平線と液面のなす角度) は、機体に作用している加速度 (= 遠心力) と重力の加速度の合力と水平線との角度で表される。

以下に、競技用スタント機の液面角の例を示す。

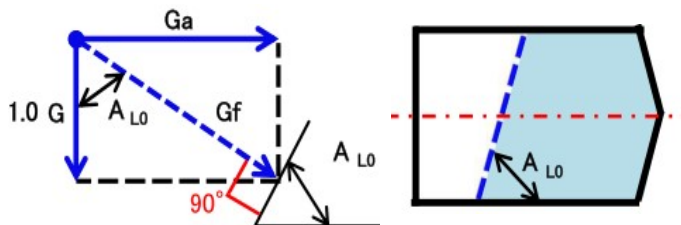


図-4 機体に作用する加速度と液面傾斜角

ここで、

飛行速度：V = 25.0 (m/sec)、飛行半径：R_{h0} = 19.2(m)
 (飛行半径 = ワイヤー長：18.0 (m) + 内翼長：0.75 (m)
 + 腕半径：0.45 (m) = 19.2(m)) とすると、

水平飛行の ラップタイム： l_t は、
 $l_t = 4.8$ (sec) となる。

a) 高度角 0° (= 水平飛行)

Uコン技術 (その2)

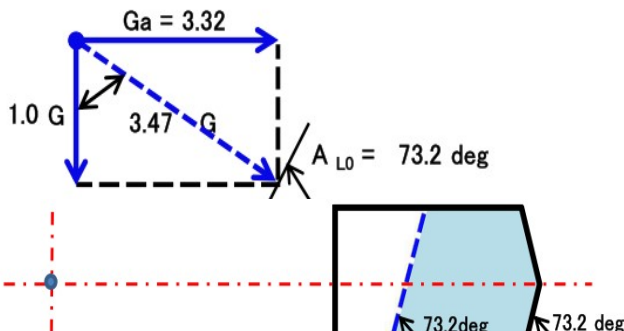


図-5 高度角 0° (= 水平飛行) の液面傾斜角

b) 高度角 60°

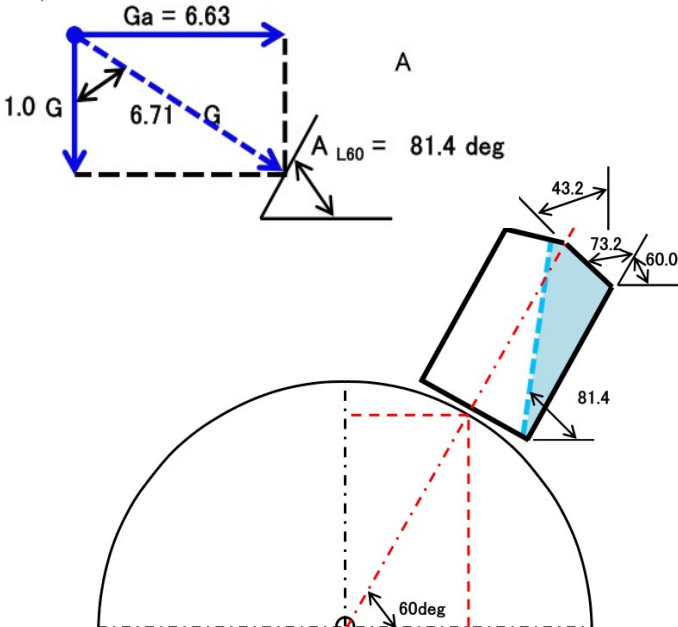


図-6 高度角 60° の液面傾斜角

c) 高度角 90° (ウイングオーバー：頭上通過)

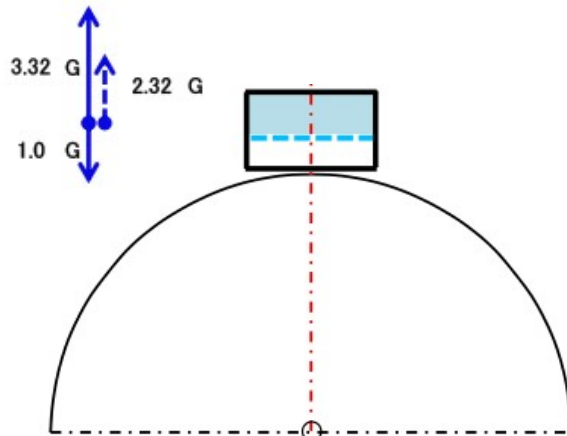


図-7 高度角 90° (= 頭上通過) の液面

ウエッジタンクのエッジ角は上記の角度を基に決定する。
飛行半径と飛行速度、液面角の関係を 図-8 に示す。

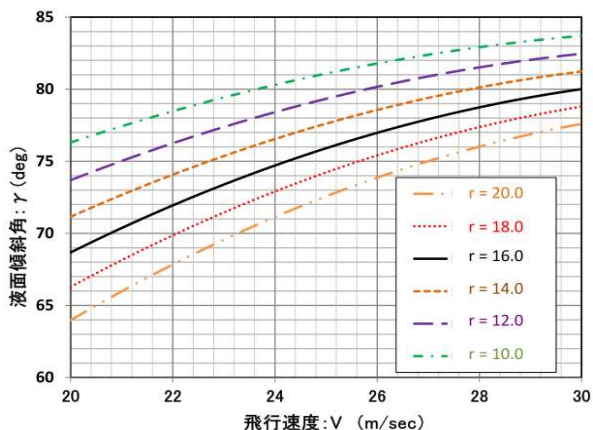


図-8 飛行半径と飛行速度、液面角の関係

4. ユニフロータンク

ユニフロータンクは、燃料の消費量に無関係に、最後まで一定圧力で燃料を供給できるタンクである。

燃料タンクには、燃料をタンクに給油する給油パイプとオーバーフローパイプ、エンジンに燃料を供給する送油パイプの3本のパイプがある。通常の燃料タンクの給油パイプを送油パイプのそばまで延長する(=ユニフローパイプ)対策でユニフロータンクに進化する。飛行中は、オーバーフローパイプを閉じて、ユニフローパイプを大気に開放する。

原理は鳥の自動給水機と同様で、大気圧の利用である。

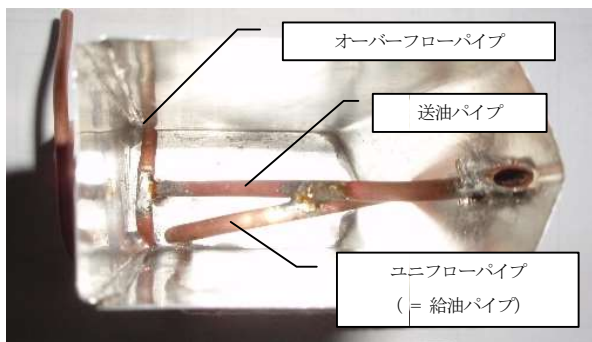


写真4 組み立て中のユニフロータンク

5. おわりに

Uコンは、数ある模型航空機の操縦方法の中で、最もシンプルな制御システムである。紹介した燃料タンクも同様である。パイロットが機体の外部から自らの機体を操縦し

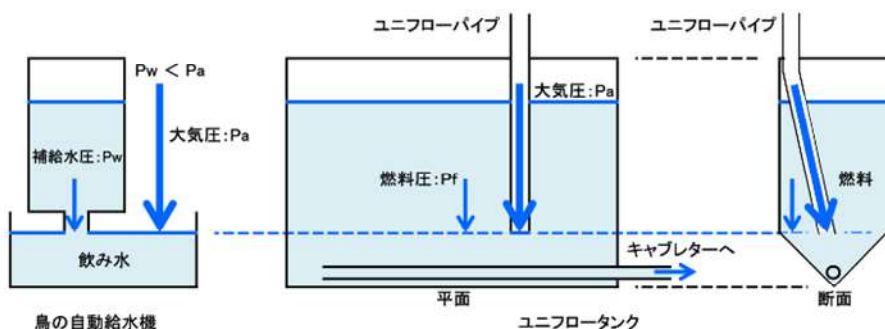


図-9 鳥の自動給水器(チキンホッパー)の原理に基づくユニフロータンク

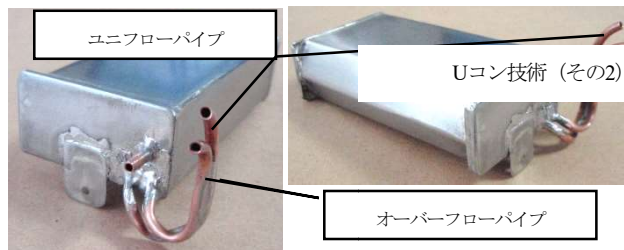


写真-5 完成したユニフロータンクの外観



写真-9 左:機体の燃料タンク室 右:エンジン搭載



写真-10 ユニフロータンクを搭載したスタント機

ているにも拘らず、あたかもコックピットに乗り込んでいるように直接動翼を制御できる。それ故、スタント機は驚くべき性能を発揮できる。観客も機体の性能とパイロットの制御技術により迫りに満ちた飛行を楽しめる。今後共、Uコンの迫力と魅力の発信、普及に努めたい。

《謝辞》

原稿を纏めるに当たり御協力頂きました、堀内さんをはじめ、日本模型航空連盟：松下委員長、副委員長：加藤さん、今年の世界選手権大会の日本チームメンバー：能米さん、比気さんにこの場をお借りしてお礼申し上げます。

《参考文献》

- 1) 吉川俊明, Uコン技術(その1), 第18回スカイスポーツシンポジウム講演集, 日本航空宇宙学会, 2012.12
- 2) R・G・モルトン, Uコン技術マニュアル, 電波実験社, 1969.04