

Uコン技術（その1）

○ 吉川俊明（榎浅沼組）

Control line Technique (1st)

Toshiaki Yoshikawa

Key Word : Control Line, Model Aircraft, Line, Circle

Abstract

This paper introduce the outline of a control line craft in the field of a model airplane.
And it means the solution of the problems that occur by the method of the characteristic flight.

1. はじめに

“Uコン”は、模型航空機の中でも独特の方法で機体を制御する。2本の操縦索（以下、ラインと記す）で昇降舵を制御して、ラインを半径とする半球面上を飛行させる。昇降舵以外に、フラップや方向舵、エンジン停止の燃料カットオフ装置と連動させることもある。また、3本以上のラインにより、エンジンの出力制御や主脚の上げ下げ等も行なわれる。

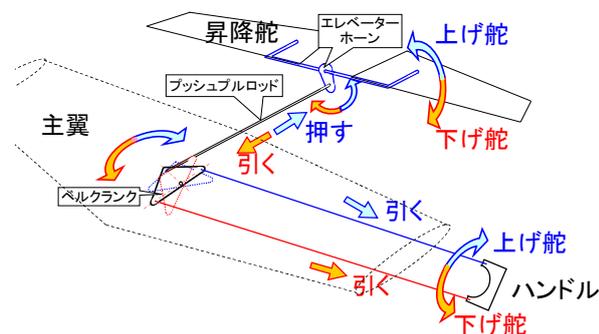


図1 “Uコン”の操縦システム概要

操縦は、操縦桿の機能を果たすハンドル、パイロットと機体を結ぶラインを介して、ハンドル操作を機体に取り付けたベルクランクに伝達、その回転動作を往復動作に変換して昇降舵を制御する（図1参照）。また、パイロットが半球面上の地上の中心から機体を制御することから、飛行場をサークルと呼ぶ。（図2参照）

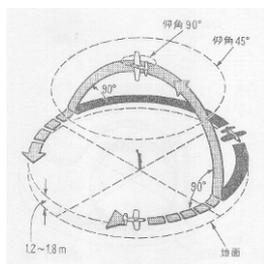


図2 “Uコン”機の飛行範囲

2. “Uコン”の紹介

2.1 “Uコン”の魅力

模型航空機としての“Uコン”の魅力を掲げる。

- ① 機体の製作と飛行が容易で壊れ難く、安価

- ② 飛行に大規模な飛行場等の空間が不要で安全
- ③ 制御システムが簡易で扱い易く、耐久性に富む
- ④ 制御に当たり、ラインの張力や空力舵面に作用する空気力（操舵圧）を、ラインを介して手首をはじめ全身で感じるとともに、その反応は臨場感に富む。

2.2 国際航空連盟(スポーティングコード)の分類等

“Uコン”は我が国独特の呼称で、諸外国では“コントロールライン (Control Line)”と呼ばれる。

国際航空連盟 (FAI) による分類では、クラスF (エアロモデル) に F2A ~ F2D の4種目が公式規定され、それぞれ F2A : スピード、F2B : 曲技、F2C : チームレーシング、F2D : コンバット 競技を示す。

上記以外にも暫定規定やローカルルールにより、ラットレースや風船割り、キャリヤーカーゴ、滞空、スケール等、またそれぞれの種目にエンジンの排気量別のクラス分け等々、多様な競技種目が有る。

以下に、競技種目を紹介する。



写真1 FAI 規定に基づく競技種目別の機体例

- ① F2A (スピード) : 規定の飛行半径の基に、一定の周回数を飛行する時間計測により飛行速度を競う
- ② F2B (スタント) : 制限時間内に定められた種類の曲技飛行を行い、その正確さや美しさを競う

- ③ F2C（チームレーシング）：3 機を同時飛行させて、給油を行いながら規定時間内の周回数を競う
 ④ F2D（コンバット）：2 機を同時飛行させて相手機の機尾に取り付けたストリーマを切り合う

2.3 競技規定等

安全に競技するために、種目毎に主尾翼の合計面積や最大排気量、ラインの長さ等が規定されている。

例えばスピード競技では、速度が速すぎてパイロットが機体についていけずに制御不能に陥ると極めて危険である。無制限に速度を競うと、30 年以上も過去に 300 km/h を超えている。当該問題では、ライン径を太くして速度を抑制する対策も有効である。

選手に人気のある競技は F2B：曲技、観客に人気があるのは、3 機が同時飛行してピットストップ（給油）しながら追いつかれつするチームレーシングや高速で派手な空中戦を展開するコンバットである。

参考に、F2B 競技（演技：

16 種）の機体制限や飛行規定の概要を示す。① 最大飛行重量：3.5 kg、② 最大全長：2 m、③ 最大全幅：2 m、④ ピストン式エンジンの総容積上限：15 cc、⑤ ライン長（コントロールハンドル中心から機体中心まで）：15.0 m 以上 21.5 m 以下、⑥ 演技時間：7 分以内、⑦ ライン試験：飛行の 30 分前以内に、当該機の燃料を含まない重量の 10 倍の負荷をハンドルとライン、機体全体に作用させる、⑧ 有効なサイレンサーを装備する 等である。



写真2 F2B 競技

2.4 “Uコン”の歴史

“Uコン”は、1940 年初頭に合衆国で発展した。

1940 年 9 月に、オレゴン州のネヴィルス・E・ウオーカーが“Uコン”の原型を発明し、同年 12 月末に特許を出願した。カリフォルニア州を中心に急速に普及発達し、機体のキットも販売された。翌春には競技会が開催され、2 機同時飛行や第 3 ラインを用いてエンジンの出力を制御するまでに至った。

我が国には早くも 1941 年に伝わった。第 2 次世界大戦後、米国の駐留軍によって最新技術が伝承・展開された。1947 年（昭和 22 年）には東京の宮城前広場で第 1 回日米親善模型飛行機大会が開催され、戦後の混乱から立ち直った 1948～49 年頃に全国に幅広く普及した。駐留軍基地のある立川、横

田基地などに専用サークルが作られていたことから当時の盛況振りが伺える。“Uコン”の発明なしには、短期間で世界中にこれほど多くの模型航空機人口を育成するに至らなかったとすら言われている。

最盛期は 1970 年代で、'60 年代後半から爆発的に増加、'70 年代に 20 万人に達した。その後減少に転じ、'80 年代後半に入ると急激に減少し、今日に至る。

世界選手権大会（隔年開催）への参加は、1972 年のフィンランド大会の F2B の個人出場に始まる。

'74 年のチェコスロバキア大会では F2B にチーム（3 名）出場、'76 年のベルギー大会では、F2A：2 名、F2B：3 名、F2C：1 チームと、3 回目の出場にして全種目参加を果たした。その後も F2B においては、チーム出場による連続参加を継続、近年ではチーム成績で好成績を残している。

2.5 我が国の“Uコン”の現状と諸外国との比較

現在、我が国の“Uコン”人口は極めて減少した。実際に活動に取り組んでいる人達は、1000 名にも達しないと思われる。高齢化も著しい。しかし、製作や飛行の技術は高水準を維持し、F2B 競技では世界選手権大会や全米大会で上位に位置している。

衰退は、最盛期のマニアの多くが中高生で、社会人になると共にラジコン機等他部門への移行や飛行場（多くは河川敷）の使用制限、騒音等の環境問題、コンピューターの発達に伴うゲームの流行等様々な要因が重なったことに起因すると考えられる。

一方、諸外国の模型航空に対する取り組みは我が国と大きく異なる。ヨーロッパの先進諸国や合衆国では、第 2 次世界大戦以後に多くの“Uコン”専用飛行場を保有した。特にかつての共産圏諸国では、電波の民間解放の問題から、ラジコン機よりも“Uコン”機の普及が著しかった。航空機の発達を意識した社会人の取り

組みや飛行場の確保、資金面の余裕等から継続的な活動者が多い。ヨーロッパ諸国では、古くから世界選手権大会をはじめ、国内選手権やヨーロッパ選手権大会等が開催され、競技種目も多岐に渡り、スカイスポーツとしての位置づけを確立している。



写真3 チェコ共和国の専用飛行場 Hradec Kralove：フラデツクラーロヴェーサークルは左上：F2C、右上：F2A、下：F2B とクラブハウス

3. 飛行における問題と対策

“Uコン”が一般の模型航空機に比較して極めて象徴的で大きく異なる点に、以下がある。

- ① 飛行機（=制御舵面）とパイロットが 2 本のラインで直結されている。
- ② 2 本のラインで限定された半球面上の空間を飛行することから、機体の制御は昇降舵を主とした運動が基本（方向舵や補助翼は制御出来ない）となる。

①・②から、制御上の問題に、ラインが風の影響等で緩むと制御不能に陥ることがある。従って、常にラインを弛ませずに飛行させる工夫が重要である。

以下に、“Uコン”独特の制御方法に起因する問題の要因と影響、一般的な対策について述べる。

3.1 問題の要因とその影響

安定した飛行の妨げとなる要因とそれが飛行に与える影響を掲げる。

- ① ラインの重量と空気抵抗（図3 参照）
→ ラインの重量によって機体が内側に傾く（横揺れ：ローリング）と共に、空気抵抗によって機首が飛行円周内方向に回転（偏揺れ：ヨーイング）する。
 - ② 一定半径の円周を飛行するので、飛行半径内外の速度差により主翼に揚力差が発生（図4 参照）
→ 外翼に発生する揚力が内翼のそれより大きくなり、機体が内側に回転（横揺れ：ローリング）する。
- これらはいずれもラインの緊張を弛ませ、機体が制御不能に陥る原因となる。

3.2 対策

“Uコン”機を、ラインが弛むことなく安定して飛行させるために必要な一般的な対策を掲げる。

3.2.1 ラインの重量と空気抵抗対策

- ① 外翼端にライン重量の約 2 倍の重りを搭載する
- ② エンジンに 2 ~ 3° のオフセット角を付ける
- ③ ラダーを 5 ~ 10° 外側に向ける
- ④ ラインに 3 ~ 5° の後退角を付ける（ライン取り出し位置を重心位置より後退させる）（図5 参照）

3.2.2 内外翼の速度差対策

“Uコン”機の最も特徴的で効果的な外観上の形状対策である。飛行半径内外の主翼に関して、内翼を外翼よりも長くして、内翼の面積を外翼より 3 ~ 5 %程度大きくする。それにより内翼の揚力を外翼より大きくして、外向きの横揺れ（外傾）を継続的に発生させてラインの張力を維持する。（図6 参照）

3.2.3 特殊対策例

- 参考に、種目毎の効果的な特殊対策例を掲げる。
- ① 曲技機：内外翼のフラップを差動させる（内翼フラップの操舵角を外翼側より大きくする）
 - ② スピード機：外翼をなくす（サイドワインダー）
 - ③ その他：内外翼の翼型や翼厚、矢高を変化させる

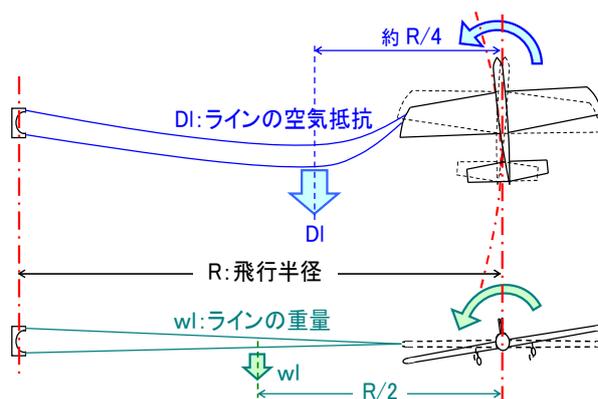


図3 ラインの重量と空気抵抗に起因する問題

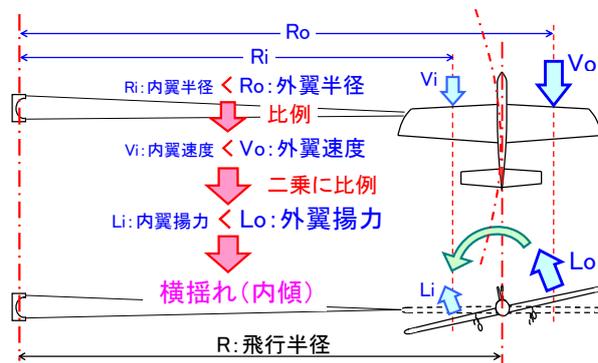


図4 飛行速度差に起因する問題

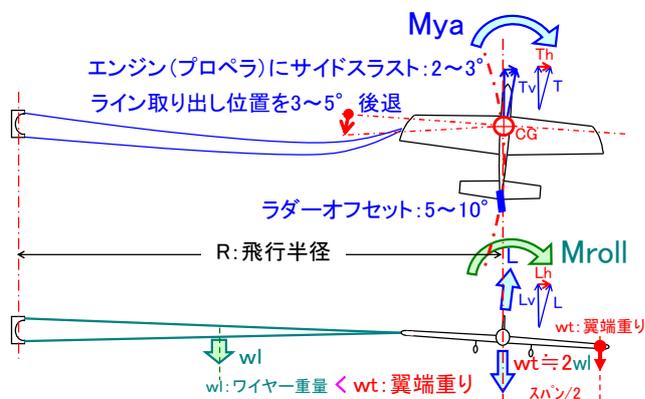


図5 ラインの重量と空気抵抗対策

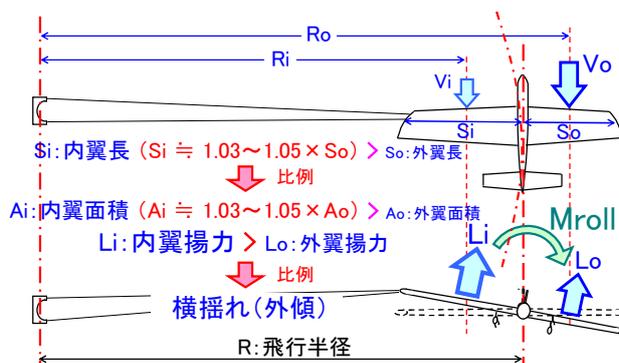


図6 飛行速度差対策

3.3 影響の概略値と検証

一般的な曲技機を例に、ラインの重量と空気抵抗、内外翼の速度差による影響の概略値を求め、安定した飛行に必要な諸対策の効果を評価、検証する。

機体は、翼長：1.5 m、主翼面積：0.4 m²、アスペクト比：5.6、テーパー比：0.8、翼型：15 %対象、重量：1.5 kg、飛行半径：20 m、速度：25 m/sec、Cl = 0.096 (α=0.9 deg) ライン：φ 0.4 mm × 2 本、翼端重り：40 gr 垂直尾翼面積：0.012 m²、ラダーオフセット：7 deg、エンジンオフセット：3 deg とする。

3.3.1 ラインの影響

ラインの空気抵抗による横揺れ：Mwtyaw と偏揺れ：Mwtroll モーメントを求める。空気抵抗は次式による。(図7~9 参照)

速度 V は、飛行半径の関数であるから

$$D = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times Cd \times \int_0^v V^2 dv$$

3.3.2 主翼に発生する揚力

内外翼の速度差による横揺れ：Mliroll モーメントを求める。揚力は次式による。(図10~11 参照)

速度 V は、飛行半径の関数であるから

$$L = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times Cl \times \int_0^v V^2 dv$$

3.3.3 結果

表1 ラインの重量と速度差対策

影響要因	荷重	モーメントアーム	モーメント		
			記号		
対策前	ライン重量	10 gr	0.75 m	Mwtyaw +0.0075 kgm	
	速度差	内翼揚力	0.72 kg	0.375 m	Mliroll +0.2700 kgm
		外翼揚力	0.78 kg	0.375 m	Mliroll -0.2925 kgm
	計			NG ← 内傾 ← -0.0150 kgm	
対策後	翼端重り重量	40 gr	0.75 m	Mwtyaw +0.0300 kgm	
	速度差	内翼揚力	0.751 kg	0.400 m	Mliroll +0.3004 kgm
		外翼揚力	0.749 kg	0.375 m	Mliroll -0.2809 kgm
	計			OK! ← 外傾 ← +0.0495 kgm	

① モーメントの符号 内翼が下がる方向：“-”、外翼が下がる方向：“+”
 ② 揚力のための釣合い長は、内翼長 = 外翼長 × 1.038 (3.8% = 28.5mm)
 ③ ここでは、内翼長 = 外翼長 + 5 cm (6.7%) として計算した。

表2 ラインの空気抵抗対策

影響要因	荷重	モーメントアーム	モーメント	
			記号	
ラインの空気抵抗	263 gr	0.80 m	Mwtyaw	-0.2104 kgm
エンジンオフセット	54 gr	0.35 m	Menjyaw	+0.0189 kgm
ラダーオフセット	398 gr	0.70 m	Mruyaw	+0.2786 kgm
計			OK! ← 機首が外側に偏揺れ ←	+0.0871 kgm

① モーメントの符号 機首が内側に偏揺れ：“-”、外側に偏揺れ：“+”
 ② エンジンの推力：1228 gr

4. おわりに

“Uコン”について紹介し、飛行の基本的な問題点と対策を示した。当シンポジウムを通じて、その魅力が見直されるとともに、欧米諸国に引けを取らないスカイスポーツの基盤の構築と発展を期待する。

[参考文献]

1) Uコン技術マニュアル (株)電波実験社 R・G・モルトン

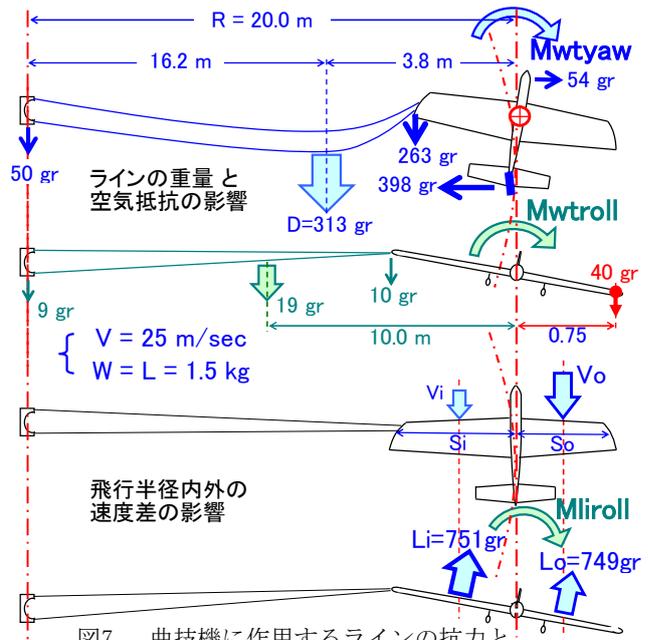


図7 曲技機に作用するラインの抗力と翼の速度差による揚力の影響

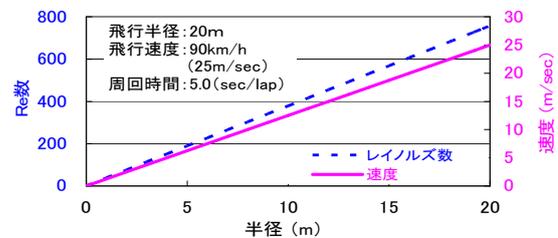


図8 ラインのレイノルズ数と速度

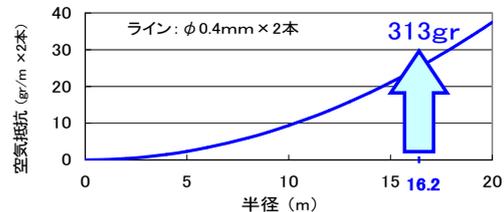


図9 ラインの空気抵抗

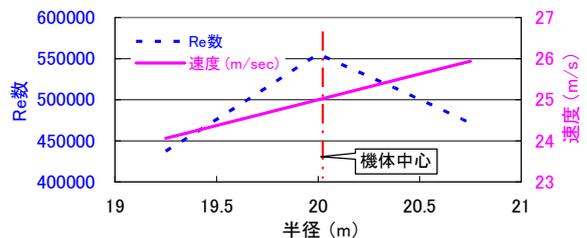


図10 主翼のレイノルズ数と対気速度

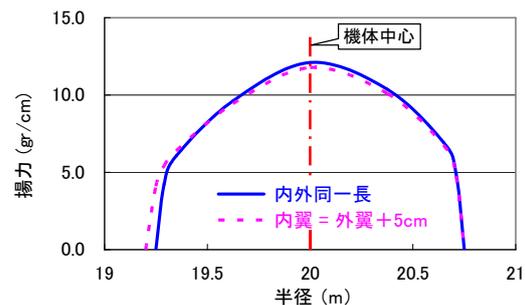


図11 主翼の揚力分布