

釣り合い旋回中におけるラダー使用量について

永野 達朗、笠井 修二

Rudder Deflection During Turn with Coordinated Controls

By

Tatsurou NAGANO, Syuuji KASAI

1. はじめに

航空大学校では、平成4年4月からビーチクラフト式A-36型機¹⁾(以下「A36」という)という単発訓練機を使用している。

初めて飛行機の操縦を練習する学生には、A36のようなプロペラの影響の大きい飛行機のラダーコントロールほど理解させづらい事はない。パワーを引いたり足したり、また、速度が増加したり減少したり、そのたびにラダーコントロールが必要となる。操縦教官に上昇旋回、降下旋回、または水平旋回操作を実施中に“手(エルロン)足(ラダー)を一致させて操縦しなさい、当て舵を使いなさい”、と言われても当初は良く分からない学生が多い。手足の一致を強調すると手と足を単に一定の割合で使う事だと勘違いしている学生もいるほどである。また、ラダーコントロールについての教育が他のコントロールの教育に比較しておろそかになっている現状にも鑑み、A36では理論的にはどんな操作が必要なのかまず理解してもらう事が教官の教育要領および学生の学習効果に有益であると考えます。

過去において、重実哲男・衣袋美治著(航空大学校研究報告R-40)によりエルロンの操作量の研究報告があるため、今回の実験では特に旋回中のラダーコントロールに着目し実験を行った。また、本実験においては方向舵の変位角度を測定するよりも、ラ

ダーペダルの変位量を測定することが学生教育に役立つ(学生教育において方向舵の使用量を教授することはなく、ラダーペダルを左または右にどのくらい、何時、どのように使用するかを教授するため)と考え、旋回確立後ボールセンターとするために、ラダーペダルが水平直線飛行時からどれくらい変位しているかを、変位測定器を使用して測定し、ラダーペダルをどのように操作すれば釣り合い旋回(旋回に入れるために補助翼を操作するとアドヴァースヨー(機首を旋回とは反対の方向に向けようとする作用)が生じる為、旋回側のラダーペダルを踏む。そして揚力を増加するために操縦桿をわずかに引く。それとともに、速度を一定に保つためにエンジン出力を増加させなければならない。この三つの舵の操作とエンジン出力の制御が完全に釣り合って行われると、横滑りのない旋回(釣り合い旋回)に入ることができる。²⁾また旋回確立後も三つの舵の操作とエンジン出力の制御が完全に釣り合っていないければ釣り合い旋回を持続することはできない)となるのか実験を試みた。

2. 測定の方法

ラダーペダルの変位量を測定するためには、ラダーペダルから方向舵につながっているケーブルの動きを測定する方法も考えられるが、飛行中においてそ

れを測定することは困難であるため、本実験においてはラダーペダルに変位測定器を接続して測定した。また、市販の変位測定器をそのまま操縦席に取り付けることはできないので、取り付け器具を工作して操縦席に取り付けた。(図2)

実験では、水平直線飛行状態における、すべり計のボールセンターでのラダーペダルの位置から、旋回確立後のボールセンターでのラダーペダルの位置の変位を計測した。旋回のバンク角は左右15度、30度、45度について測定した。

参考として、ラダーペダルの変位量に対する方向舵の舵角を地上において測定した。

2. 1 使用機材

- 1) 機体 ビーチクラフト式A-36型機(図1)
- 2) 変位測定器(共和電業DTP-D-500S)取り付けの様子(図2)
- 3) 変位測定器とラダーペダルとの接続部分(図3)
- 4) 動ひずみ測定器(TEAC SA-30A)(図4中央部)
- 5) レコーダー(KEYENCE NR-2000)(図4左端)
- 6) 変位測定器、動ひずみ測定器及びレコーダーの結合写真(図4)
- 7) 舵角測定器(図5)



図1 ビーチクラフト式A-36型機

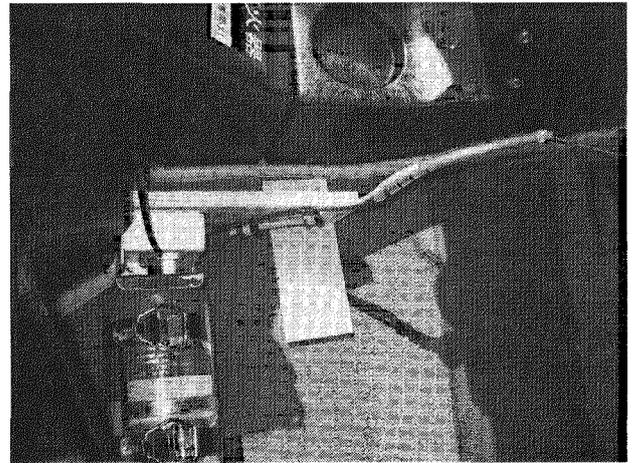


図2 変位測定器取り付けの様子

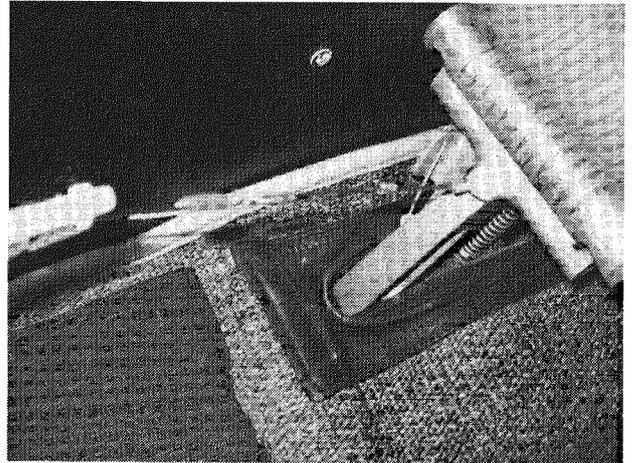


図3 変位測定器のケーブルとラダーペダル取り付けの様子

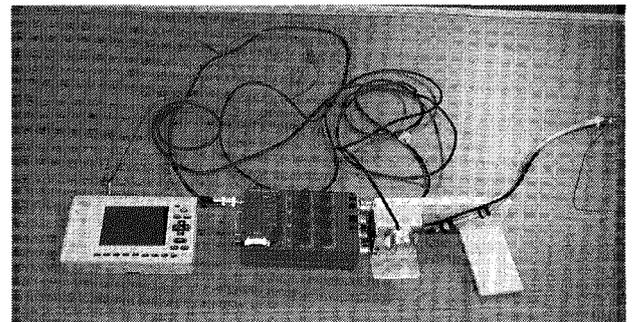


図4 レコーダー(左)、動ひずみ測定器(中央)及び変位測定器(右)の結合の様子

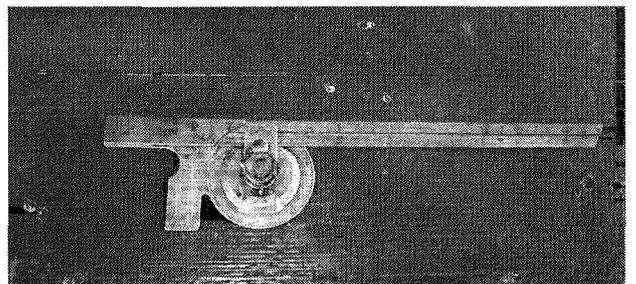


図5 舵角測定器

2. 2 測定システムの構成図

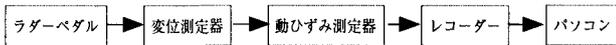


図6 測定システムの構成図

測定システムの構成図を図6に示す。まず、変位測定器のケーブルをラダーペダルに結合する。ラダーペダルが変位すると結合された変位測定器の電圧が変化する。変化電圧を動ひずみ測定器を通じてレコーダーに記憶する。レコーダーに記憶した変化電圧をパソコンに取り込み分析した。

電圧と変位量の間係を図7に(0.15Vが10mmの変位量となる)、実験データの一例を図8に示す。

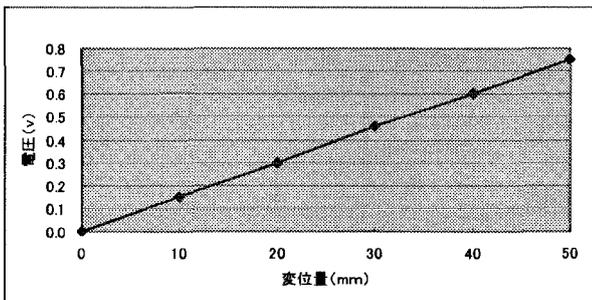


図7 電圧と変位量の間係

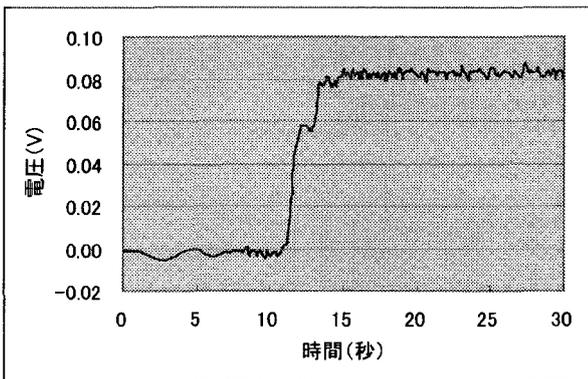


図8 データの一例：左45度バンク（旋回開始後約10秒までは、ラダー操作は実施せず、約10秒後からラダー操作を実施した。測定は0.125秒間隔で実施した）

測定は、旋回開始から約30秒間実施した。ラダーペダルは旋回開始後約10秒後から操作することとし、ラダー操作が安定した最後の約10秒間の値の平均値を変位量とした。上図8の例では初期値がマイナス0.001Vであり、最後の10秒間の平均値はプラス0.083Vとなる。電圧の変化は0.084Vとなり、それを変位量に換算すると5.6mmとなる。

参考としてラダーペダルの変位量と方向舵の舵角の間係を測定したところ、ラダーペダルの変位量約6mm(4160号機及び4164号機)が方向舵の約2度の変位に相当する。

2. 3 実験方法

実験は、2006年3月に宮崎空港周辺空域において、4名の教官により、異なる5機を使用して実施した。

- 1) 変位測定器のケーブルを右席、左ラダーペダルに結合し右席の操縦者が実験（操縦）を行った。
- 2) 飛行データは、気圧高度4,000フィート、指示対気速度134ノットで測定した。（気圧高度とは、QNE法による高度で、標準気圧29.92inHGから測定した高度）
- 3) ラダーペダルの位置は、水平直線飛行時の右計器板すべり計のボールセンターの位置を測定器の初期値とした。
- 4) 水平直線飛行において、上記の状態にセットし、左右15度、30度、45度バンクの旋回をそれぞれ確立する（この時ラダーは操作しない）。旋回開始後約10秒後からラダーペダルを操作し、ボールセンターとした時のラダーペダルの変位量を約20秒間測定した。（変位量のデータは、ボールが安定した最後の約10秒間を使用した）ラダーペダル測定回数は各バンク左右3回ずつ（各機）行った。
- 5) バンク角は、人工水平儀のバンク指示により行った。
- 6) 機体左右の重量差が影響しないようにするため、

各実験時の左右の燃料の差は1 / 8 未満とした。

3. 実験結果

左右旋回、バンク角別に得られた結果（変位量は10秒間の平均値）及び機番ごとのラダーペダルの遊び量を示したのが表1である。

釣り合い旋回確立後のラダーペダルの水平直線飛行時からの変位量（ケーブルの取り付け位置のアーム（165mm）とラダーペダルのアーム（210mm）を換算した値）を δp （以下「 δp 」という）とする。また、右席の左ラダーペダルの機軸方向前方をプラス、後方をマイナスとした。（単位:mm）

表1 ラダーペダル変位量

機番	実験番号	操縦者	左 旋 回			右 旋 回		
			バ ン ク 角			バ ン ク 角		
			15度	30度	45度	15度	30度	45度
4160	1	A	0.9mm	0.8	6.0	-0.1mm	0.4mm	-6.7mm
	2		0.8	1.1	5.1	-0.1	-0.8	-5.2
	3		0.8	0.9	6.6	-0.4	-1.3	-3.6
4164	4	B	1.0	0.8	5.5	-0.1	-0.3	-4.1
	5		-0.3	0.3	5.1	-0.1	-1.3	-2.0
	6		0.1	0.0	5.7	-0.4	-1.3	-4.8
4162	7	C	0.1	0.4	3.8	-2.2	-2.3	-5.7
	8		0.1	0.9	3.8	-2.3	-2.4	-6.7
	9		0.4	1.1	5.6	-0.4	0.1	-3.1
4170	10	B	2.0	2.0	6.2	-2.5	-0.4	-4.8
	11		1.4	3.9	6.4	-1.7	-1.4	-5.9
	12		2.3	3.6	7.1	-1.0	-0.6	-4.8
4163	13	D	0.8	3.4	7.1	-2.8	0.1	-9.3
	14		1.3	2.4	7.3	-0.9	-0.4	-8.8
	15		2.0	1.8	3.9	-0.6	0.1	-5.1

測定では、すべり計のボールセンターの見方の個人差、及び機体差が出るものと思われるので、複数の操縦者及び機体を使用することによりラダーペダルの変位量の傾向を把握することとした。

3. 1 左旋回

表1における左旋回時の変位量の結果をグラフにしたものを図9に示す。

釣り合い旋回確立後のラダーペダルの水平直線飛

行時からの変位量 δp は、旋回内側へのラダーペダルの変位がほとんどである。

δp の平均値は、15度バンクで0.9mm、30度バンクで1.6mm、45バンクで5.7mmであった。バンク角による差は、15度及び30度バンクにおいてはほとんどなく、ともに極めて小さいが旋回方向といえる。また45度バンクにおいては、6mm近い変位量がありラダーペダルの旋回方向への動きが顕著となった。

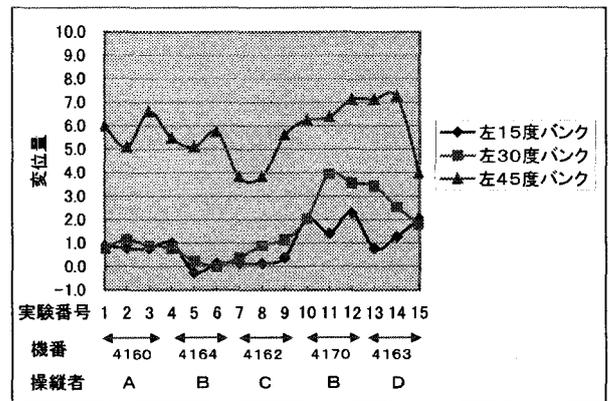


図9 左旋回における変位量（一人の操縦者が3回の実験を実施）

3. 2 右旋回

表1における右旋回時の変位量の結果をグラフにしたものを図10に示す。

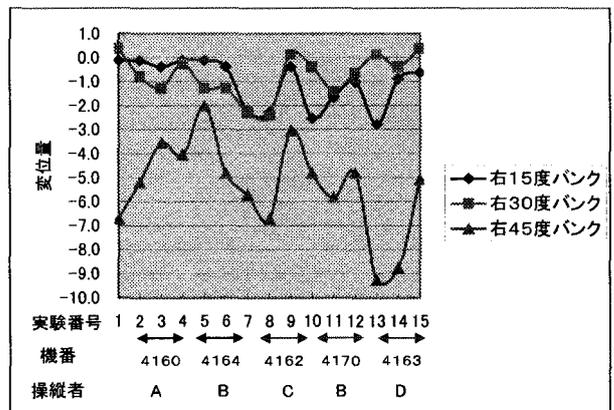


図10 右旋回における変位量（一人の操縦者が3回の実験を実施）

δp は、旋回側へのラダーペダルの変位がほとんどである。

δp の平均値は、15度バンクで-1.0mm、30度バンクで-0.8mm、45バンクで-5.4mmであった。右旋回においても左旋回と同様に、バンク角による差は、15度及び30度バンクにおいてはほとんどなく、ともに極めて小さいが旋回方向といえる。45度バンクにおいては左旋回と同様、ラダーペダルの旋回方向への動きが顕著となった。

3. 3 左旋回と右旋回の比較

表1の左旋回と右旋回のバンクごとの比較をグラフにしたものを 図11 (15度バンク)、図12 (30度バンク)、図13 (45度バンク) に示す。

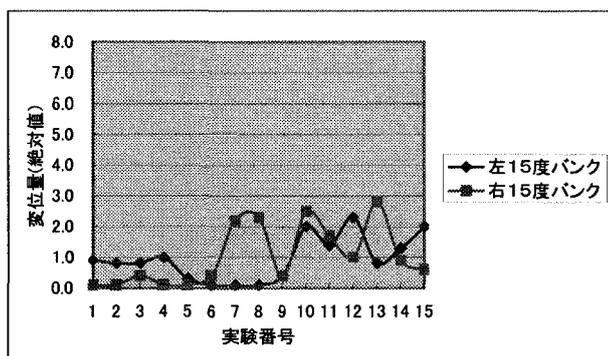


図11 左旋回と右旋回の比較 (15度バンク)

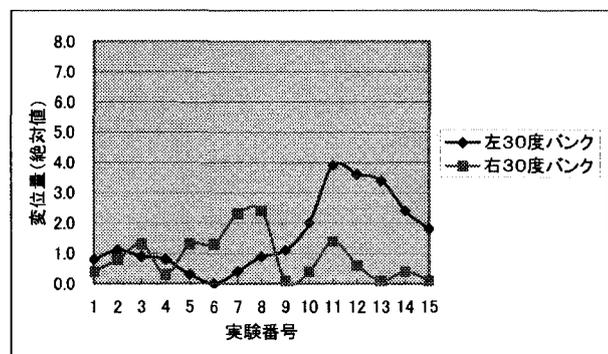


図12 左旋回と右旋回の比較 (30度バンク)

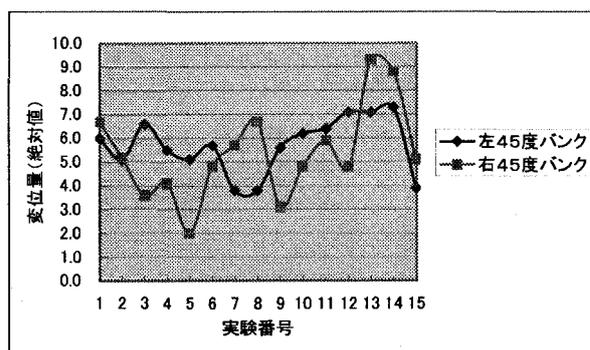


図13 左旋回と右旋回の比較 (45度バンク)

左旋回と右旋回における差はほとんどなく、旋回内側へのラダーペダルの使用となるが、15度及び30度バンクにおいてはその量は極めて小さい (約1.5 mm程度)。45度バンクにおいて変位量が多くなるが、顕著な左旋回と右旋回の差は認められなかった。

4. 考 察

- 1) 一般的に釣り合い旋回中、方向舵の使用は中立かまたはわずかに旋回方向となる。³⁾ 本実験においても、釣り合い旋回中におけるラダーペダルの変位はほとんど旋回方向となった。15度バンクと30度バンクにおいては、釣り合い旋回中におけるラダーペダルの使用は極めて小さいものであり、方向舵はわずかに旋回方向である。また、45度バンクにおいては、15度バンク及び30度バンクに比較して多くなるためラダーペダルの顕著な使用が必要であり、方向舵は旋回方向となっている。
- 2) 左旋回と右旋回時におけるラダーペダルの変位量の差はほとんどなかった。前述の重実哲男・衣袋美治著によると、釣り合い旋回中のエルロンの使用においては、プロペラ後流による左右の差⁴⁾が報告されているが、方向舵の使用については、垂直尾翼がプロペラ後流の影響を減少させる方向に取り付けてある (前後軸に対して左に1度)⁵⁾ ために、左右の差がほとんどないと推察される。

5. まとめ

ラダーペダルの変位量を知ることが、学生に対するラダーコントロールを理解させる上で必要であるという観点からラダーペダル変位量を測定したところ次のような結果を得た。

- 1) 釣り合い旋回中におけるラダーペダルの使用は、15度バンク及び30度バンクにおいては極めて小さいものであり、操縦に大きく影響しない。45度バンクにおいては、15度バンク及び30度バンクと比較して多くなるためラダーペダルの使用が操縦には重要となる。
- 2) 左旋回と右旋回時におけるラダーペダルの変位量の差はほとんどないため、左旋回と右旋回を意識した操作は必要ない。
- 3) 今回は旋回確立後の実験であったが、学生訓練においては、旋回確立以前のラダーペダルの使用法も教授すべきであり、今後その実験も行うことにより、より効果的な教授が行えるものとする。

最後にこの実験に協力していただいた、宮崎本校学科教官市川教授、宮崎本校実科教官室、及び変位測定器取り付け器材の製作に多大なる支援をしていただいた株式会社ジャムコの下唐湊様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本航空機全集 2004
P.132 鳳文書林
- 2) 比良二郎著「飛行の理論」1992
P.165 廣川書店
- 3) 比良二郎著「飛行の理論」1992
P.293 廣川書店
- 4) 重実哲男・衣袋美治著：「旋回操作における操縦桿操作量について」
P.29 航空大学校研究報告 R-40 1986
- 5) MODEL SPECIFICATION Japan Civil
Aviation College Model A36 1992
P. 8 Beech Aircraft Corporation