

ピストンエンジン飛行機の 動力関係操作に関わる技能の維持・継承

千葉職業能力開発短期大学校成田校 合田 祐三郎

1. はじめに

動力関係を操作する主なものは3本のレバーとマグネット・セレクタである。以下の内容は、ほとんどこの4つの操作についてである。

地上試運転における操作に加え、運航（飛行）中の操作についても記述している。

全般的に、「操作により定まる量・定まらない量」「操作の目的」「起こる現象」「良否判定基準」「故障探求」「調整方法」「変化したこと・変わらないもの」「操作順の理由」という観点で整理した。

推定によらざるを得ない部分もあるが、なるべく具体的に数値で示すようにした。

「操作レバー全般」を2に、「地上試運転（一部巡航飛行時）」を3に、「アフターバーニング事象（地上）」を4に、「プロペラ・ガバナーの働き（主に巡航飛行時）」を5に、「レバー操作の順（巡航飛行時）」を6にまとめた。

2. ピストンエンジン飛行機の動力関係操作レバー

一般的に、可変ピッチプロペラを装備したピストンエンジン飛行機の操縦席にある動力関係の操作レバーは次の3種類である。タービンエンジンプロペラ機（ターボプロップ機）もほぼ同様である。

左（黒）：スロットル・コントロール・レバー（以下、略して スロットル・レバー）

中（青）：プロペラ・コントロール・レバー（以下、略して プロペラ・レバー）

右（赤）：ミクスチャ・コントロール・レバー（以下、略して ミクスチャ・レバー）



2.1 スロットル・レバー

操縦席スロットル・レバー（黒）の操作により最終的に動くものは、気化器またはインジェクタ内の円形のスロットル・バルブである。このレバーは自動車のアクセルペダルに相当する。スロットル・

レバーの位置によって定まるものは、スロットル・バルブの角度のみであり、エンジン出力・トルク・MAP（吸気圧力）・回転数ともに定まらない。そのためスロットル・レバーの位置（スロットル・バルブの角度）を表現する場合には「スロットル開度」と記すことが多い。

確実に言えることは、レバーを前へ進めたときにはエンジン出力・トルク・MAPは増加し、手前に引いたときにはエンジン出力・トルク・MAPは減少することである。

出力＝トルク×回転角速度（回転数）の関係があるが、各単位系の標準単位でこの関係を表現すると、次のようになる。

①SI単位系：

$$\text{出力 (W)} = \text{トルク (N} \cdot \text{m)} \times \text{角速度 (rad/s)}$$

②メートル法重力単位系：

$$\text{出力 (PS)} = 1/716.2 \times \text{トルク (kgf} \cdot \text{m)} \times \text{回転数 (RPM)}$$

③ヤードポンド法重力単位系：

$$\text{出力 (HP)} = 1/5252.1 \times \text{トルク (ft} \cdot \text{lb)} \times \text{回転数 (RPM)}$$

ピストンエンジン飛行機の計器として「回転計」は必ず装備されているが、「出力計」「トルク計」は装備されていない。代わりに可変ピッチプロペラ機においては「MAP（吸気圧力）計」が義務装備となっている。

可変ピッチプロペラ機の操縦士は高度（外気温度）、回転数およびMAPの値から現在出力を捉えている。

同高度（同温度）においてトルクはMAPに比例しそうであるが、文献 [1] による実機性能表を見る限り比例はしていない。残念ながらMAPの値か

らトルクを知ることはできないが、性能表により出力レートと回転数とMAPの関係が与えられたものについては算出したトルクとMAPの関係を知ることができる。

スロットル開度に連動して動くものとして、加速ポンプ・エコノマイザ・アイドルバルブ・メタリングシャフト等があるが、本題ではないので省略する。

2.2 プロペラ・レバー

操縦席のプロペラ・レバー（青）の操作により最終的に動くものは、プロペラ・ガバナー内のスピーダスプリングの頭部側（上側）の位置である。プロペラ・レバーの位置によって定まるものは「選定回転数」である。そのためレバー横の固定部に回転数の目盛りがマーキングされている機種もある。

2.3 ミクスチャ・レバー

操縦席のミクスチャ・レバー（赤）の操作により最終的に動くものは、さまざまな方式に対してさまざまな呼び名があるが、1つのバルブである。いずれも燃料流量の微調整を行うものであり、燃料遮断も兼ねている。ミクスチャ・レバーの位置によって定まるものは、各種バルブの「燃料流路の開度」のみであり、燃料流量・混合比（燃空比）ともに定まらない。確実に言えることは、レバーを手前に引いたときには混合比は薄くなり、前に進めたときには混合比は濃くなることである。

2.4 TB10型の操作レバー

ソカタ式TB10型（フランス製・単発ピストンエンジン飛行機）の動力関係操作レバーの概要につい

表1 TB10型の動力関係操作レバー

操縦席レバー名称		末端機器	末端機器外部の接続箇所	末端機器外部レバー関係調整箇所	末端機器内部の動く箇所	レバー位置により定まる量
左	スロットル・レバー (握り 黒色)	気化器	スロットルバルブ コントロールレバー	アイドル側ストップ 位置調整ネジ	スロットル・バルブの角度	なし
中	プロペラ・レバー (握り 青色)	プロペラ・ ガバナー	コントロールアーム	最大回転数 調整ネジ	スピーダスプリングの 頭部側(上側)位置	選定回転数
右	ミクスチャ・レバー (握り 赤色)	気化器	ミクスチャ コントロールレバー	なし	ミクスチャ・メタリング・バルブ の開度	なし

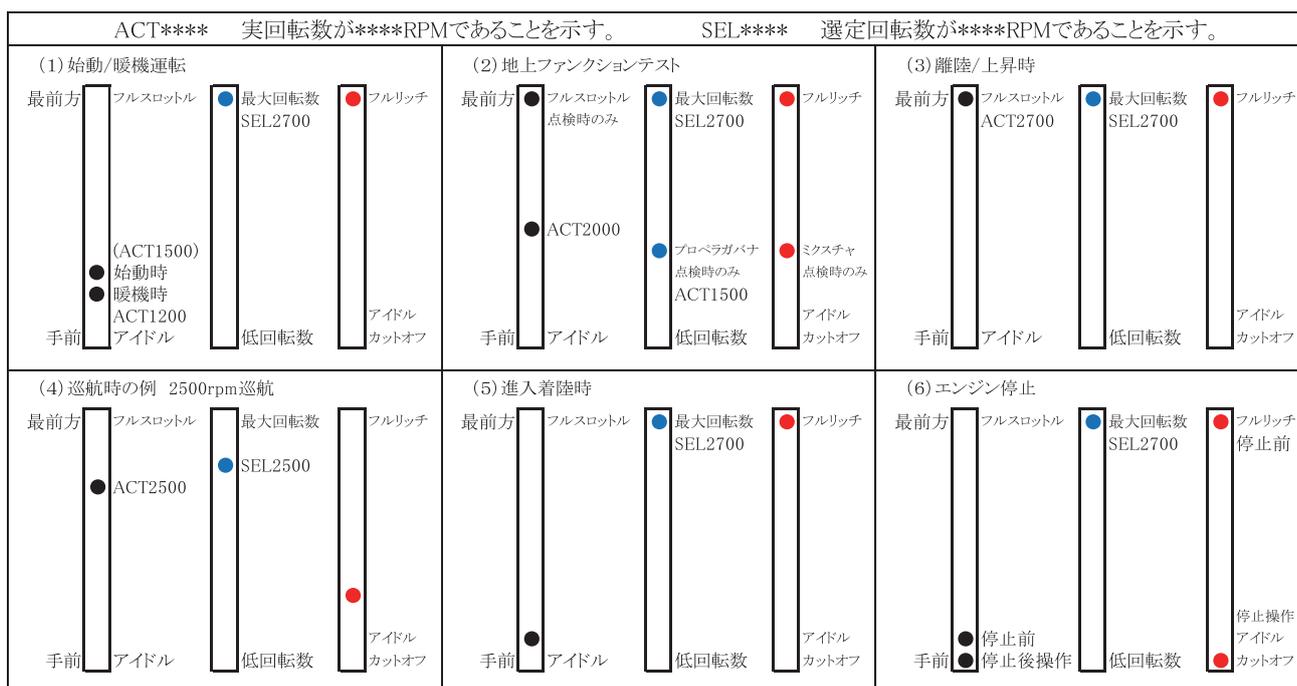


図1 TB10型、各状態における動力関係操作レバーの位置

て表1に示す。

同じくTB10型の地上および運航（飛行）中の操作レバーの位置について図1にまとめて示す。

3. ピストンエンジン飛行機の地上試運転

別表1 TB10型 試運転点検表の項目番号と照合し、「各操作の目的」「そのとき起こる現象」「良否判定基準」「故障探求」「調整方法」について解説する。

TB10型のエンジンは、自然吸気4サイクル水平対向4気筒、一般的航空機用ピストンエンジンであり、各シリンダ（各気筒）に2本の点火プラグをもつ。また、ダイレクトドライブ（直接駆動）であり、エンジンとプロペラの回転数は常に等しい。

3.1 点検表1-4, 6, 7, 8, 9の確認

この確認は、その後の1-11プロペラ・クランキング（手回し）時の不意の点火による事故の防止のために実施している。

3.2 点検表1-10フラップスイッチ位置の確認

この確認は、その後の1-21電源オン時に不意にフラップが動くことによる事故の防止のために実施している。

3.3 点検表2-8エンジン始動前のインジェクション（燃料注入）回数

スロットル・レバーをアイドルからフル、フルからアイドルに戻す操作を1回とする。加速ポンプ（ダッシュポット）を利用しているため操作速度により注入量が変わるので、普通（アイドルからフルまで1秒程度）での回数で示す。暖機ができている状態では1回行うのが最も良い。2-11スターター（始動機）オン後3秒以内に始動できる。当日の最初の始動時には3回が妥当である。

寒季においては、それでも始動できないことが多く、その場合にはスターターを回しながらインジェクション操作（スロットル・レバーを前後に動かす）を複数回行うことで10秒以内に始動できる。

3.4 点検表3-A電気リカルパワー・チェック

この点検は、夜間飛行に必要な十分な電気負荷を与えた状態で、オルタネータ（DC発電機）の発電量

別表1 TB10型 試運転 (TEST RUN-UP) 点検表

REV-05

様式 PCN-TRU-0601T

新規設定 2004.6.18 改定 2021.1.6

TB10 S/N	1054 1205 1243	日付	年 月 日
実施場所	始動時刻 時 分	運転時間	外気温 °C
ポリテクカレッジ成田	停止時刻 時 分	分	気圧 in-Hg
			実施者
			確認者

1. BEFORE ENGINE STARTING ※接地面、障害物の点検。

1.飛行前点検 Carried out	9.Engine controls Check deflections	17.Altimeter SET(QFE) 気圧記入
2.Choke Check Installed	10.Flaps control position actual posi.	18.All ind. static position check
3.Ext. Fire Extinguisher SET	11.Propeller Cranking(if necessary) *1	19.Flight controls and trim check
4.Magneto selector OFF	12.ALL PCB (6個) IN	20.GPU ON (合図)
5.Radio master switch OFF	13.Doors CLOSE	21.Main switch (呼びかけ合図) ON
6.Main switch OFF	14.Parking brake SET (合図)	Volt ck (.) V 外気温記入
7.All SB & PCB OFF	15.Seats, seatbelts, harnesses check	注意: M.S."ON"時、プロペラ回転を監視せよ! 回転時は即"OFF"!
8.Fuel selector OFF(CLOSE)	16.Alternate static source Pushed	

2. ENGINE STARTING *1 4~8BLADES

1.Advisory panel Check & Test	6.Fuel pump ON (Green light ON, F. Pres.Greensector)	9.Throttle 1/4 OPEN
2.Fuel selector OPEN(L.H. or R.H.)	7.始動時刻記入	10.Area Clear 確認 & START (合図)
3.Carburettor heating OFF(COLD)	8.Injection Throttle ope. few times (Cold engine only) *2	11.Magneto/start selector START
4.Propeller FULL FORWARD		Engine 1000 to 1200 RPM
5.Mixture FULL RICH		Oil Pressure Coming up 30秒以内

*2 HOT START 0~1

Oil Pressure Warning L/T ON 25psi以下

3. AFTER ENGINE STARTING

1.GPU Disconnect (合図) Battery Volt ck (.) V	4.Throttle 1200RPM	12.All Radios & Nav aids ON
2.Alternator SB ON (Amber light OFF, Voltmeter Greensector)	5.Turn Coordinator ON	13.All Radio & Navaid operational test
3.Fuel pump OFF (Green light OFF, F. Pres.Greensector)	6.Flaps TAKE OFF-LANDING-RETRACTED	14.Amber light OFF, Voltmeter Greensector
	7.Internal lighting ON	15.All Radios, Nav aids, elec. equip. OFF
	8.External lighting (合図) ON	B.Fuel selection check (Eng 900RPM)
	9.Fuel pump ON	16.Fuel selector from LEFT to OFF (Red light ON, Fuel. Pressure DROP)
	10.Pitot Heater ON Then OFF Light ck	17.Immediately Selector on RIGHT (Red light OFF, Fuel. Pres.NORMAL)
	11.Radio master switch ON	

注意: 滑油温度が黄色範囲のときは
1200RPMを超さないこと!

4. ENGINE RUN-UP

1200RPM	Oil pressure Monitor	2000~2250RPMは連続運転禁止!	Suction press.limit 4.4~5.2in-Hg	緩速IDLE運転は短時間!
1.Engine control friction Adjusted	2.Oil temp. Green sector	3.Fuel pressure Green sector		
RPM (合図) 2000	①MAP LIMIT 17.5以下 in-Hg	Oil temp. Green Mid 80°C	Oil press. Green Mid 75psi	Fuel press. 0.5psi
		②EGT	Volt LIMIT 28±0.2V	Suction press. in-Hg
			D.G. SET (分)	CHT °F
				IND 1250-1750° F 25° F間隔 3時方向は1450° F (*は1650°F)
2000	③A.Propeller check	Propeller lever Cycle twice(maxi. 500rpm drop)		良好 要点検
	④B.Magneto check RPM check	R.then BOTH rpm drop Max.drop 175rpm on each L.then BOTH rpm drop Max.左右差 50rpm	LIMIT OUT時は2500RPM 1分後再度確認	良好 要点検
	⑤C.Carburettor heating ck RPM MAP check	Carburettor heating FULL HOT then OFF (COLD)	rpm drop , MAP down then up CAT increase (if engine cold)	良好 要点検
	⑥*.Mixture check RPM C'k	Mixture lever to LEAN	10~20rpm up then down , EGT increase	Up確認 要点検
IDLE	D.Engine check	(1)Throttle Idle rpm	Idle 700±50 rpm	良好 要調整
	⑦	(2)Mixture lever to IDLE CUT-OFF rpm up	Idle rpm up of 20 to 40 rpm	
1000 (合図)	⑧	(3)*.Acceleration check 加速2.5秒	Throttle 1000 to 2000 to 1000 rpm twice	良好 不良
(合図)FULL	⑩	(4)Full throttle (10 sec.maxi)	rpm MAP Maxi.rpm 2680~2700	良好 要調整

5. ENGINE SHUT-DOWN / SECURING AIRCRAFT

1.Demisting,Cabin air flow & temp. ck	6.Magneto selector OFF (抜く)	12.Main swich OFF
2.D.G. drift ° 経過時間 分	7.Throttle Idle	13.Alternator SB & Other All SB OFF
3.Throttle REDUCED 900rpm	8.停止時刻記入	14.Radio master swich OFF
4.Magneto cut-off (safety) test	9.Oil pressure warning light Illuminated	15.All PCB (6個) OFF
5.(合図)Mixture IDLE CUT-OFF	10.Fuel selector to OFF Red light on	16.点検表記載 内容確認・署名
CHT 320° F以下 or 安定	11.Parking brake to OFF Red light off	17.Control lock install (if necessary)
D.G. DRIFT LIMIT 15分で3° まで		18.機外点検

特記事項・不具合事項

ADF(190~1750KHz)	NHK:594KHz (298°)	TBS:954KHz (291°)
VOR(108~117MHz)	北総(HKE):115.0MHz (50°)	成田(NRE):117.9MHz (63°)
VHF(118~135MHz)Comm.	成田 [ATIS:128.25MHz App:125.80MHz Twr:118.20MHz Gnd:121.80MHz]	

が十分であり電圧が維持できていることを確認している。

3.5 点検表3-Bフューエルセレクション・チェック

この点検は、安全のためフューエル・セレクタ（燃料選択弁）オフにより燃料が遮断できることと、左右燃料タンクの切り替えがスムーズに行えることを確認している。

3.6 点検表4エンジン・ファンクションテスト（機能試験）

A：4① 回転数2000RPMにおけるMAP（吸気圧力）の値

この値は、標高が低い地点で通常の大気圧力の状態では16.5~17.5in-Hgである。この値が17.5in-Hgを超えている場合は何らかの不具合を抱えている。低ピッチ（羽根角11°30′）のプロペラを2000RPMで回すために必要な出力を得るのに、正常よりスロットルを開いていることになる。多くの場合は点火プラグの失火が原因である。1 [in-Hg]=3386.388 [Pa]

B：4② 回転数2000RPMにおけるEGT（排気ガス温度）の値

この値は、前述と同じ条件で1350°F~1375°Fが正常であり、1400°Fを超えている場合は何らかの不具合を抱えている。前述と同様、正常よりスロットルを開いていることになる。多くの場合は点火プラグの失火が原因である。

$$[°Fの値]=[°Cの値] \times 1.8 + 32$$

C：4③ プロペラ・チェック

この点検は、プロペラ・ガバナーの機能が働いていることを確認している。

現在プロペラ・レバーはフルフォワード（最前方）、すなわち選定回転数は2700RPM、実回転数は2000RPM、従ってガバナーはアンダースピード状態である。

プロペラ・レバーを手前に引き、選定回転数を現在の実回転数2000RPMより下げることにより、ガバナーをオーバースピード状態にしてプロペラ羽根角を増加させ実回転数が下がることをまず確認している。そしてプロペラ・レバーを前方へ戻すときに

は選定回転数を実回転数より上げたことになり、ガバナーをアンダースピード状態にしてプロペラ羽根角を減少させ実回転数が上がり2000RPMに戻ることを確認している。

この操作は、回転数を下げることが目的ではなく、正しく回転数が変化することが確認できればよいので、必要以上に回転数を下げないようにすべきである。TB10型では1500RPM以下にしないように注意書きがある。後述の「連続運用禁止範囲」と関係してくる。

D：4④ マグネット・チェック

この点検は、全8本の点火プラグが正常に点火できているかどうかを確認している。

マグネットとは点火専用の発電機であり、独立して2個（RマグネットとLマグネット）装備されている。各シリンダの1本の点火プラグはRマグネットに、もう1本の点火プラグはLマグネットにつながっている。マグネットの切り替えスイッチとしてマグネット・セレクタがあり、TB10型の場合は次の各位置（5ポジション）がある。



OFF：両マグネット無効

L：Lマグネットのみ有効

R：Rマグネットのみ有効

BOTH：両マグネット有効

(START：スターターオン PUSH必要)

通常はBOTH位置で運転している。このマグネット・チェックではRおよびLに切り替えたときの回転数の低下量によって点火状態の良しあしを判断している。正常な状態では約100RPM低下する。

(2000RPMから1900RPMに低下)

単純理論「固定ピッチプロペラの必要パワーは回転数の3乗に比例する。」を適用すると、デュアル点火（2重点火）に対し、シングル点火（単独点火）では約14%の出力低下となることが分かる。

150RPM程度低下し、回転数が不安定で回転計が

振れ、時々横振動を感じる状態になった場合は、点火プラグが時々失火している状態で不具合の兆候である。

操作前（BOTH状態）の点火プラグの状態を仮定し、RまたはLに切り替えたときの回転数の変化についての概算値を表2に示す。

表2 BOTH状態における点火プラグの状態 [仮定] に対する操作後（R又はL）の回転数の概算

操作前(BOTH)の点火プラグの状態	操作前デュアル単気筒出力	操作前デュアル総出力 *	操作後シングル単気筒出力	操作後シングル総出力	操作後回転数	不具合発生頻度
8本共 正常 (操作後4気筒)	P_0 とする	$4.0000 P_0$	$0.8574 P_0$	$3.4296 P_0$	1900 RPM	
1本失火している (操作後3気筒)	P_1 とする	$3.8574 P_1$	$0.8574 P_1$	$2.5722 P_1$	$(2.5722/3.8574)^{1/3} \times 2000 = 1747 \text{ RPM}$	頻繁に起こる。 5回に1回程度
2本失火している (操作後2気筒)	P_2 とする	$3.7148 P_2$	$0.8574 P_2$	$1.7148 P_2$	$(1.7148/3.7148)^{1/3} \times 2000 = 1546 \text{ RPM}$	稀に起こる。
3本失火している (操作後1気筒)	P_3 とする	$3.5722 P_3$	$0.8574 P_3$	$0.8574 P_3$	$(0.8574/3.5722)^{1/3} \times 2000 = 1243 \text{ RPM}$	ほとんどない。
4本失火している (操作後0気筒)	P_4 とする	$3.4296 P_4$	0	0	停止	起こりえる。 対象マグネットの不具合

* 操作前デュアル総出力はすべて等しい。低ピッチ(羽根角 $11^\circ 30'$)のプロペラを2000RPMで回すのに必要なパワーである。従って、 $P_4 > P_3 > P_2 > P_1 > P_0$ 、対応するMAP(スロットル開度)の大小関係も同様である。すなわち、2000RPMファンクション・テストにおけるMAPの値が高い場合は、この不具合(失火)を抱えている可能性が高い。

8本の点火プラグのうち1本が失火している場合、約250RPM低下する。(2000RPMから1750RPMに低下) 頻繁に起こり、激しい横振動を伴う。

2本が失火している場合、約450RPM低下する。(2000RPMから1550RPMに低下) まれに起こる程度である。同様に激しい横振動を伴う。

経験が必要であるが、この不具合を事前に察知することは、前述AおよびBのMAPおよびEGTの値を注意深く見ることによって可能である。

この不具合が起きたときの対処として、比較的混合比の薄い中出力・高回転でしばらく運転して、点火プラグの汚染を取り除く操作を行っている。それでも改善しないときにはエンジンを停止し、プラグを取り外して清浄にする必要がある。

E : 4⑤ キャブレターヒーティング・チェック

この点検は、気化器の凍結防止のためのヒーターが作動することを確認している。

キャブヒート・レバーを手前いっぱい(HOT)に引き、回転数が低下することおよびCAT(気化器空気温度)が上昇することをもってヒーターの作動を確認している。

通常、回転数は約150RPM低下する。約21%の出

力低下となる。

燃焼用空気の流路が変わり流れの抵抗が増加することによる混合気の容積流量・MAPの低下、さらに吸気温度の上昇による質量流量の低下が加わり大きく出力が低下する。

MAPの値は一時的に低下するが、その後の回転数の低下・流速の低下に伴う静圧の上昇により、ほぼ操作前の値に戻る。

F : 4⑥ ミクスチャ・チェック

この点検は、気化器において空気・燃料混合比(空燃比)を変化させ、巡航時に適正な混合比に調整できることを確認している。

ミクスチャ・レバーは巡航時以外の運転中はフルリッチ(最前方)に置く。

エコノミークルーズ(燃費優先・60%出力)の場合には、レバーを手前(リーン側)に操作し、EGTがピーク(最大値)になる所に置く。

パフォーマンスクルーズ(時間優先・75%出力)の場合には、EGTがピークの位置から前方(リッチ側)に戻し、EGTが 75°F 下がる所に置く。

各種状態におけるミクスチャ・レバーの位置および操作について、表3にまとめて示す。

表3 各種状態におけるミクスチャ・レバーの位置および操作

空燃比(燃空比)は質量比		ミクスチャ・レバー位置						
		地上試運転			運航(飛行)			
		ファンクションテスト ミクスチャ・チェック (2000RPM)	アイドルリング ミクスチャ・チェック (700RPM)	ファンクションテスト フルスロットル (2700RPM)	離陸 上昇 (2700RPM)	巡航飛行(例)		進入 着陸 (低回転数)
空燃比 (燃空比)	混合比名称				エコミークルーズ (2300RPM)	パフォーマンスクルーズ (2500RPM)		
濃 ↑	10.0 : 1 (0.100) 10.5 : 1 (0.095)	高出力混合比			フルリッチ	フルリッチ		
	11.1 : 1 (0.090)	緩速混合比		フルリッチ 中間				フルリッチ
	12.0 : 1 (0.083)		フルリッチ			フルリッチ	フルリッチ	
	12.5 : 1 (0.080)	最良出力混合比	中間 回転数ピーク	カットオフ寸前 回転数ピーク		中間	ここに設定 EGT 75 °F 低	
	15.0 : 1 (0.067)	理論混合比	中間			中間	中間	
薄 ↓	16.0 : 1 (0.0625)	最良経済混合比	中間			ここに設定 EGTピーク	中間 EGTピーク	
	17.0 : 1 (0.059)	(過薄)	中間 回転数不安定			中間 エンジン不調(振動)	中間 エンジン不調(振動)	

地上試運転におけるこのチェックでは、ミクスチャ・レバーをフルリッチ（最前方）から手前（リーン側）に操作し、回転数の微妙な上昇の後、低下が続き、やがてエンジン回転が不安定になることをもって混合比の変化を確認している。

プロペラ低ピッチ（羽根角11°30'）の固定ピッチプロペラ状態で行うため、出力の変化が回転数の変化となって現れる。最良出力混合比となる位置で最大回転数となる。

フルリッチ位置での回転数2000RPMに対し、レバー操作範囲の中間よりやや手前の位置でピーク回転数2010～2020RPMが確認される。

さらに手前（リーン側）に操作すると、回転数が徐々に低下していき、1900RPM強まで低下した所でエンジン回転が不安定となる。（薄すぎ）

なお、この操作はピストンエンジン飛行機の現在のマニュアル上には規定されていない。

かつては0～10RPM上昇という規定があった。

“0RPM上昇で良いのであれば操作の必要はない”という考えであろうか。気化器にもこの上昇量を調整する機能がないので、規定を外れていても調整はできない。

当航空機整備科では、ぜひ学生に体験してもらいたく思い、この項目を残している。

G : 4 ⑦ アイドリング回転数チェック

この点検は、スロットル・レバーをアイドル（手前いっぱい）に操作した時の回転数が規定値内に



あることを確認している。TB10型の例では700±50RPMである。

調整が必要な場合は、気化器のスロットルバルブコントロールレバーのアイドル側ストップ位置を決める調整ネジにより行う。CW（時計回り）に回すとアイドル回転数が上がる。CCW（反時計回り）に回すと下がる。経験上、1/4回転（90°）で約40RPM増減する。

アイドルリング回転数を規定する理由について、文献等に記載が見当たらないので自身が推定する。飛行の最後、進入着陸時に係し、「アイドルリング回転数が低すぎるとエンジン回転が不安定となり空中でエンジンが停止するおそれがあること」、「アイドルリング回転数が高すぎると進入速度および高度の細かな調整ができず、着陸に要する滑走距離が長くなってしまふこと」と推定する。



H：4⑧ アイドリング・ミクスチャ・チェック

この点検は、ミクスチャ・レバーがフルリッチの位置で混合比が適度に濃くなっていることを確認している。(空燃比11.1：1)

ミクスチャ・レバーをフルリッチ（最前方）から手前（リーン側）に操作し、燃料遮断（カットオフ）寸前に上昇する回転数の最大値を見極めることにより確認している。TB10型の例では20～40RPM上昇が規定値である。

なぜここで回転数が上昇するかを理解することが重要である。アイドリング時にはミクスチャ・レバーの前方操作広範囲（フルリッチ～かなり手前まで）において燃料流量は変化しない（濃いまま）。かなり手前からさらに手前へ引くと、燃料の遮断が始まり混合比が薄くなり、やがてエンジンは切れる（停止する前にフルリッチに戻す）。その間に最良出力混合比となる所があり、その時に回転数が最も上昇する。

この上昇回転数が大きいときはフルリッチ状態での混合比が濃いことを意味し、上昇回転数が小さいときはフルリッチ状態での混合比が薄いことを意味する。

調整が必要な場合は、化器のアイドリング・ジェット孔の開口面積を変える調整ネジにより行う。CW（時計回り）に回すと開口面積が減り、燃料流量が減ることにより混合比が薄くなる。結果、ミクスチャ・チェック時の上昇回転数が減る。CCW（反時計回り）に回すと開口面積が増え、燃料流量が増えることにより混合比が濃くなる。結果、ミクスチャ・チェック時の上昇回転数が増え

る。経験上、1/2回転（180°）で約10RPM増減する。

この調整を行った場合には、Gのアイドリング回転数も変化するため、再度アイドリング回転数の調整が必要となることもある。



アイドリング時に混合比を濃くする理由は、文献[2]に次の記載がある。「低速運転時にはバルブ・オーバーラップが高出力状態に適するように設定されているため、燃焼室内に排気が残って混合気を薄め、またエンジン温度も低く燃料気化が不十分となるので混合比を濃くする必要がある。」

なお、アイドリング操作GおよびHはなるべく短時間で完了するよう心掛ける必要がある。長時間行くと、点火プラグの汚染が進み失火の原因となる。

I：4⑨ 加速チェック

この点検はFのミクスチャ・チェック同様、ピストンエンジン機の現在のマニュアル上には規定されていない。良否判定基準を定めることが難しいからであろう。

実施する場合はスロットル・レバーを緩やかに操作し、1000RPMから2000RPMまで2.5秒程度で加速できればそれによしとしている。急激な操作をすると必ずアフターバーニング（後述）を起こすので避けなければならない。

一般的にピストンエンジンの加速は大変よく、問題となることはない。一方、タービンエンジンにおいては重要なチェック項目となっている。

当航空機整備科では、多くの学生が就職先でタービンエンジン機を取り扱うことになるので、参考としてこの項目を残している。

J : 4⑩ フルスロットル・チェック

この点検は、スロットル・レバーをフルスロットル（最前方）まで操作し、プロペラ・ガバナーの最大回転数ストッパーの調整が適正であることと、エンジンが所定の出力を発揮していることを確認している。

TB10型の例では最大回転数は2680～2700RPMに規定されている。出力に余裕があるため、もしこの抑制がなければエンジン／プロペラ回転数は3000RPMを超えるであろう。103%（2781RPM）以下のオーバースピードに対しては特に対処は必要ないが、それを越えるオーバースピードを起こした場合には相当な対処が必要になる。ゆえに、この操作中は回転計を常に注視し、目安2750RPMを超えることがないようにしなければならない。2750RPMを超えるようであればフルスロットルまで操作してはならない。

最大回転数の調整が必要な場合は、ガバナー・コントロールアームのストップ位置を決める調整ネジにより行う。CW（時計回り）に回すと最大回転数は低くなる。CCW（反時計回り）に回すと最大回転数は高くなる。経験上、1回転（360°）で約30RPM増減する。

フルスロットル時のMAP（吸気圧力）について、TB10型の様な自然吸気エンジンにおいては大気圧（標準29.92in-Hg）を超えることはない。低高度の地上試運転においては約28.5in-Hgが標準であり、大気圧の高低に伴いスライドする。この最大MAPの値が正常であることおよび十分に回転数が上がっていることをもって、エンジンは所定の出力を発揮していると判断している。



なお、この操作はなるべく短時間で完了するように心掛け、周囲への騒音に配慮しなければならない。

3.7 点検表5-4 マグネット・カットオフテスト

この点検は、マグネット・セレクタをOFF位置にしたときエンジンが切れること（地上作業の安全）を確認している。

スロットル・レバーでエンジン回転数を900RPMまで下げた後、セレクタをOFF位置にし、エンジンが切れ回転数が500RPM程度まで下がったことを確認した後、速やかに（停止する前に）L位置そしてBOTH位置に戻す。

この操作は、その後の地上作業をするときの安全確保のための確認であり、エンジン停止直前に行うのが望ましい。

もしエンジンが切れないようであれば、多くの場合マグネットのグラウンドライン（接地線）の断線または接触不良である。

3.8 点検表5-5 エンジンの停止

エンジンの停止は、ミクスチャ・レバーをアイドルカットオフ（手前いっぱい）に操作してシリンダ内の混合気を燃焼しつくして停止させている。航空ピストンエンジンの場合には、その後の地上作業の安全のために、なるべくシリンダ内および吸気系統に燃料を残さないようにしている。

うっかりマグネット・セレクタの操作でエンジンを停止してしまった場合には、ドライ・モータリング（掃気）で余分な燃料を排出している。

4. アフターバーニング（後燃え）現象についての考察

アフターバーニングとは、排気管内において混合気が爆発的に燃焼することをいう。すさまじい爆発音を伴い、人の安全上・周囲の環境上・エンジンの破損上、なるべく避けなければならない現象である。

4.1 アフターバーニング現象の詳細について

文献 [2] に記載があり転記すると、

a 「混合気が濃すぎると炎速度が遅くなり、未燃焼ガスが排気の中に残って空気が排気管外から入り、この未燃焼ガスと混じって着火する。」

b 「点火プラグの失火で、未燃焼混合気が排気管内に排出され着火する。」とある。

ここに、未燃焼ガス：着火されたが十分に燃えきっていないガス未燃焼混合気：着火していない混合気記載がないため自身が追加して、

c 「混合気が濃すぎてシリンダ内で着火できずまたは十分に燃焼せず、未燃焼混合気または未燃焼ガスが排気管内に排出され着火する。」

着火源についても記載がないため考えられるものを追加して分類すると、

d 「排気管の高温部の熱」

e 「正常燃焼して追いかけてきた排気の熱」

4.2 アフターバーニングを起こす項目

実際に、アフターバーニングを経験する場合は次の4つである。

I：点検表2-11エンジンスタート時

II：点検表4④マグネット・チェック時にうっかりマグネット・セレクタをOFF位置にしてしまい、その後L（R・BOTH）位置に戻した瞬間

III：点検表4⑨加速チェック時にスロットル・レバーを急激に前へ進めたとき

IV：同4⑨加速チェック時および4⑩フルスロットル・チェック時にスロットル・レバーを急激に手前へ引いたとき

4.3 現象の詳細と着火源の考察

I の場合の現象は a または c、着火源は d または e と考えるが断定し難い。

II の場合の現象は確実に b である。セレクタ OFF の間には起こらないことから、着火源は d ではないことが証明される。したがって、着火源は e としか考えられない。

III の場合の現象は「気化器の加速ポンプの働きによるもので、過度の燃料供給により一時的に混合気が濃すぎる状態になること」で間違いはない。このときの回転数は1500RPM以上であるので、空気が排気管外から入ってくるとは考えられない。したがって、この現象は c と考える。アイドリング・チェックの後であることから排気管の温度はさほど高くないので、着火源はやはり e と考える。

IV の場合の現象は「急激にスロットルを絞ったために、気化器内のスロットル・バルブ後流部の圧力（密度）が急激に低下する一方、燃料ノズルから排出される燃料流量はその慣性により直前と変わらず、一部の混合気が過濃となること」と推定する。前述 III と同様に、この現象は c と考える。着火源も同様に e と考える。

考察結果をまとめて表4に示す。

表4 アフターバーニング（後燃え）についての考察

	アフターバーニングを起こす項目	アフターバーニングが起こる時の条件・操作	現象の詳細	着火源	操作ミス時の発生頻度	アフターバーニングを回避する手段
I	エンジンスタート時	エンジンHOT(暖機)状態 プライミング回数多め	a又はc	d又はe		暖機時のプライミング回数を控える。
II	マグネット・チェック時 (2000RPM)	マグネット・セレクタをOFF位置から戻した瞬間(操作ミス)	b 確実	e 確実	50%以上	注意深く操作する。
III	加速チェック時	スロットル・レバーを急激に前へ進めた0.5～1秒後(操作ミス)	c	e	100%	穏やかに操作する。
IV	加速チェック時 フルスロットル・チェック時	スロットル・レバーを急激に手前へ引いた0.5～1秒後(操作ミス)	c 推定	e	100%	穏やかに操作する。

5. プロペラ・ガバナーの働き

飛行機用プロペラは大きく分けて「固定ピッチプロペラ」と「可変ピッチプロペラ」がある。「可変ピッチプロペラ」にも数種類あるが、現在の実用機に使用されているものはほとんど「定速プロペラ」である。「フェザリング・プロペラ」も「リバース・プロペラ」も「定速プロペラ」の一種である。定速プロペラにはプロペラ・ガバナーが必要である。

5.1 プロペラ・ガバナーの機能（役目）

- (1) エンジン／プロペラ回転数を選定する。（手動）
- (2) 選んだ回転数を維持する。（自動）

実回転数が選んだ回転数（選定回転数）にならない場合は次の2つである。

- ・低ピッチ（可変範囲内で最も低い羽根角）のプロペラを選んだ回転数で回すだけのエンジン出力がないとき。（小出力時、ガバナーはアンダースピード状態のまま）
- ・高ピッチ（可変範囲内で最も高い羽根角）に達しているのに、既に選んだ回転数より高回転になっているとき。（急降下時、ガバナーはオーバースピード状態のまま）

5.2 ガバナーの回転数選定機能（手動）

ガバナー内部のスピーダスプリングの頭部側（上側）位置により選定回転数が決まる。ガバナー外部のコントロールアームを回すと、この位置が変わる。プロペラ・レバーはケーブル等を介して、このコントロールアームを回している。すなわち、プロペラ・レバー位置により選定回転数が決まる。言い換えると、プロペラ・レバーは「回転数セレクトレバー」である。

5.3 ガバナーの回転数維持機能（自動）

ガバナー内部のスピーダスプリングのスプライン側（下側）位置が、パイロットバルブの位置となる。パイロットバルブが唯一特定の位置にあるとき、プロペラとの油路が断たれ、プロペラ内部にあ

る油量はそのまま維持される。すなわち、羽根角はそのまま維持される。この状態を「オンスピード状態」という。

ガバナー内部のフライウエイトはエンジン回転数に比例した回転数で回され、その遠心力（回転数の2乗に比例）によってスピーダスプリングの下側（パイロットバルブ）を持ち上げる構造になっている。パイロットバルブは常に、この持ち上げる力とスピーダスプリングの張力が釣り合う所に位置し、この位置がちょうど「オンスピード状態」になるときのエンジン回転数が「選定回転数」であり、スピーダスプリングの頭部側（上側）位置により変化する。

パイロットバルブが「オンスピード状態」より上側にあるときを「オーバースピード状態」といい、多くの「単発機用定速プロペラ」の場合にはプロペラ内部に油を送り込む向き、「フェザリング・プロペラ」「リバース・プロペラ」の場合には内部の油を抜く向きに働き、羽根角を高くする。

パイロットバルブが「オンスピード状態」より下側にあるときを「アンダースピード状態」といい、多くの「単発機用定速プロペラ」の場合にはプロペラ内部の油を抜く向き、「フェザリング・プロペラ」「リバース・プロペラ」の場合には内部に油を送り込む向きに働き、羽根角を低くする。

ガバナー回転数維持機能の応答例①②③④を表5に示す。

表5 プロペラ・ガバナーによる回転数維持機能の応答例

機体/エンジンの操作	応答過程	変化したこと	変わらないもの
① 水平飛行から 降下飛行に移行	飛行速度増加⇒プロペラ回転負荷減少⇒実回転数増加⇒ 「オーバースピード状態」⇒羽根角増加⇒プロペラ回転負荷増加⇒ 実回転数減少⇒「オンスピード状態」元の回転数に戻る。	飛行速度増加 羽根角増加	選定回転数 実回転数 出力、トルク、MAP
② 水平飛行から 上昇飛行に移行	飛行速度減少⇒プロペラ回転負荷増加⇒実回転数減少⇒ 「アンダースピード状態」⇒羽根角減少⇒プロペラ回転負荷減少⇒ 実回転数増加⇒「オンスピード状態」元の回転数に戻る。	飛行速度減少 羽根角減少	選定回転数 実回転数 出力、トルク、MAP
③ スロットル・レバーを 前方へ移動 (出力増加)	実回転数増加⇒「オーバースピード状態」⇒羽根角増加⇒ プロペラ回転負荷増加⇒実回転数減少⇒ 「オンスピード状態」元の回転数に戻る。	出力、トルク、MAP増加 飛行速度増加 羽根角増加	選定回転数 実回転数
④ スロットル・レバーを 手前へ移動 (出力減少)	実回転数減少⇒「アンダースピード状態」⇒羽根角減少⇒ プロペラ回転負荷減少⇒実回転数増加⇒ 「オンスピード状態」元の回転数に戻る。	出力、トルク、MAP増加 飛行速度減少 羽根角減少	選定回転数 実回転数

5.4 プロペラ・レバー操作に対する応答

(応答例⑤) プロペラ・レバーを手前へ移動 - 選定回転数の減少

スピーダスプリングの頭部側(上側)の位置が上がる, スピーダスプリングの張力と下側を持ち上げる力の釣り合いは変わらないのでパイロットバルブが上がり「オーバースピード状態」, 羽根角の増加によりプロペラ回転負荷の増加, 回転数の減少により「オンスピード状態」元の回転数より低い回転数(新しい選定回転数)で安定した。

(応答例⑥) プロペラ・レバーを前方へ移動 - 選定回転数の増加

スピーダスプリングの頭部側(上側)の位置が下がる, スピーダスプリングの張力と下側を持ち上げる力の釣り合いは変わらないのでパイロットバルブが下がり「アンダースピード状態」, 羽根角の減少によりプロペラ回転負荷の減少, 回転数の増加により「オンスピード状態」元の回転数より高い回転数(新しい選定回転数)で安定した。

ガバナー回転数選定機能の応答例⑤⑥をまとめて表6に示す。

表6 プロペラ・ガバナーによる回転数選定機能の応答例

プロペラ・レバー操作	応答過程	変化したこと	変化が少ないもの
⑤ プロペラ・レバーを 手前へ移動 (選定回転数減少)	スピーダスプリングの上側位置上がる。⇒「オーバースピード状態」⇒ ⇒羽根角増加⇒プロペラ回転負荷増加⇒実回転数減少⇒ 「オンスピード状態」⇒元の回転数より低い回転数で安定。	選定回転数、実回転数減少 トルク、MAP増加 羽根角増加	出力 飛行速度
⑥ プロペラ・レバーを 前方へ移動 (選定回転数増加)	スピーダスプリングの上側位置下がる。⇒「アンダースピード状態」⇒ ⇒羽根角減少⇒プロペラ回転負荷減少⇒実回転数増加⇒ 「オンスピード状態」⇒元の回転数より高い回転数で安定。	選定回転数、実回転数増加 トルク、MAP減少 羽根角減少	出力 飛行速度

5.5 プロペラ・レバー位置の名称

最前方位の名称は「フルフォワード」または「ハイRPM(高回転数)」と呼ぶべきである。この位置を「低ピッチ」と呼称しているマニュアル等があるが, それは正しくない。レバー位置に対して一意に選定回転数が決まり, 今は最大回転数を選定していることになる。このレバーは決して羽根角を選ぶものではない。

同様に, プロペラ・レバーを手前に操作する向き

を「高ピッチ側」と呼称しているのも正しくない。正しくは「ローRPM側(低回転数側)」である。

6. 巡航飛行中のレバー操作の順

巡航飛行中に出力レートの変更や飛行高度の変更を行う場合には、新たな回転数およびMAP（吸気圧力）に設定変更する必要がある。

ミクスチャ・レバーの設定については3.6のF項に記述した内容であり最後に操作すればよい。

ここではスロットル・レバーとプロペラ・レバーの操作順について記述する。

6.1 スロットル開度と回転数の関係

図2にTB10型の地上試運転時および巡航飛行時のスロットル開度に対する回転数の変化の概要を示す。

地上試運転時のプロペラ羽根角低ピッチ状態の線（斜線）に対し、巡航飛行時の低ピッチ状態の線（斜線）は左にオフセットする。飛行速度があるため、相対的にプロペラ羽根断面に流入する空気の角度が大きくなり、プロペラ回転負荷が減少するためである。

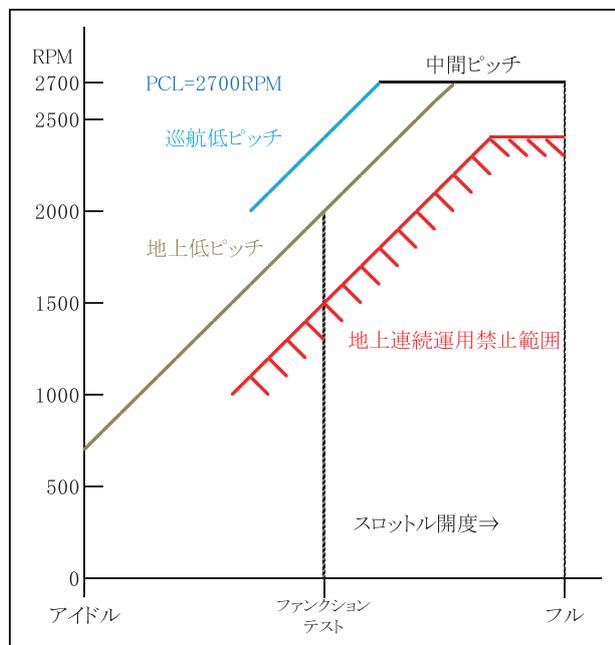


図2 TB10型、スロットル開度と回転数の関係

プロペラ・ガバナーによる選定回転数に達すると横ばいし羽根角は中間ピッチとなる。斜線より右の範囲にある場合はすべて中間ピッチである。（急降下時は高ピッチ）航空用ピストンエンジンの場合、各回転数に1対1で対応するMAPの最大値（地上における値）が決められている。高回転数では制限はない。

TB10型の例では2400RPM以下の回転数に対し制限があり、これを図中に描くと図の右下の範囲となる。これを「連続運用禁止範囲」と呼ぶことにする。

地上ファンクションテストのプロペラ・チェックにおいて、1500RPM以下に下げないように指示されていることおよび自身の計測事実で1400RPMまで下げると、実MAP値がエンジン性能曲線から推定される制限MAP値を超えることから、ほぼ図中のこの範囲は妥当であると考えられる。（地上試運転時）

上空におけるデータがないのが残念であるが、飛行中も低めの回転数においてはMAP値をなるべく高くしないよう注意されている。

低めの回転数において高いMAP値を示しているときには、エンジン出力行程において燃焼した混合気の膨張が遅くなり、シリンダ内のピーク圧力が通常より高くなるため、ピストン・ピストンロッド・クランクシャフト等の重要な部品にかかるピーク応力が高くなり、エンジン寿命を低下させる。

6.2 巡航飛行状態の例

表7に実機の水平飛行性能を示し、以下の説明に利用する。

表7 TB10型, 水平飛行性能の例 (文献 [1] から転記, 一部換算)

高度 6000ft(約1800m) ISA : 37 °F(3°C)
 ホイール・フェアリングを装備した機体

N (RPM)	2700	2600	2500	2400	2300
MAP (in.Hg) 「吸気圧力」	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1
	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2
% BHP (rounded)	78	76	74	73	70
	71	69	68	66	64
	64	63	61	60	58
TAS (kt) 「真対気速度」	127	125	125	123	121
	122	120	119	117	115
	115	113	111	109	105
燃料消費率 (U.S Gal/hr)	12.2	11.3	10.7	10.2	9.9
	11.1	10.3	9.7	9.3	8.9
	9.9	9.3	8.9	8.5	8.2
航続距離(km) 予備燃料不使用	885	944	990	1020	1039
	935	994	1039	1070	1080
	985	1030	1070	1080	1075
航続時間 予備燃料不使用	3時間53分	4時間10分	4時間23分	4時間35分	4時間44分
	4時間15分	4時間33分	4時間49分	5時間01分	5時間11分
	4時間42分	5時間00分	5時間16分	5時間28分	5時間37分

表7から読み取り, 同回転数でMAPの変化に対する出力レートの変化について,

MAP19.2から20.7 (+1.5) で出力レートが6または7%増加している。

MAP20.7から22.1 (+1.4) で出力レートが6または7%増加している。

「MAP : +1.5で出力レート : +6.5%とする。」

同様に読み取り, 同MAPで回転数の変化に対する出力レートの変化について,

100RPM増加に対し出力レートが1または2%増加している。

「回転数 : +100RPMで出力レート : +1.5%とする。」

出力レートの変化量を ΔP (%), MAPの変化量を ΔMAP (in-Hg), 回転数の変化量を ΔRPM とすると,

$$\Delta P (\%) = 6.5 / 1.5 \times \Delta MAP (\text{in-Hg})$$

$$\Delta P (\%) = 1.5 / 100 \times \Delta RPM$$

上2式から出力レートに変化がない場合の回転数変化とMAP変化の量的関係を導くと,

$$\Delta MAP (\text{in-Hg}) = 0.003462 \times \Delta RPM \quad \text{となる。}$$

6.3 エコノミークルーズの例

高度 : 6000ft

外気温度 : 37° F (約3°C)

実回転数 : 2300RPM

MAP : 19.2in-Hg (パートスロットル)

出力レート : 58%

真対気速度 : 105kt

選定回転数 : 2300RPM

プロペラ羽根角 : 中間ピッチ

出力 : 104.4HP

トルク : 238.4ft-lb

この状態を略してECとする。

6.4 パフォーマンスクルーズの例

高度 : 6000ft

外気温度 : 37° F (約3°C)

実回転数 : 2700RPM

MAP : 22.1in-Hg (フルスロットル)

出力レート : 78%

真対気速度 : 127kt

選定回転数：2700RPM

プロペラ羽根角：中間ピッチ

出力：140.4HP

トルク：273.1ft-lb

この状態を略してPCとする。

6.5 ECからPCへ移行するときのレバー操作

①プロペラ・レバーを2300RPM（現位置）から2700RPM（フルフォワード）へ操作する。MAPは減少する。実回転数は増加するが2種類の場合が考えられる。

(A) プロペラ羽根角の減少に伴う回転負荷の減少により、実回転数が2700RPMに達する。羽根角は低くなるがまだ中間ピッチである。

出力の増減はないと仮定し、MAPの減少推定量は1.3848 (400×0.003462) であり、MAPは約17.8in-Hgになると推定する。図3参照

(B) 同じく回転負荷の減少により実回転数が増加するが、2700RPMに達する前にプロペラ羽根角が低ピッチに達し、それ以上実回転数が上がらない状態である。

例として、実回転数が2600RPMまで増加したところで羽根角が低ピッチに達した場合、出力の増減はないと仮定し、MAPの減少推定量は1.0386 (300×0.003462) であり、MAPは約18.2in-Hgになると推定する。図4参照

②スロットル・レバーを現位置から前方へ進め最前方（フルスロットル）まで操作する。MAPは増加し22.1in-Hgに達する。実回転数は(A)では2700RPMのまま(B)では2600RPMから増加して2700RPMに達した後2700RPMのままとなる(移行完了)。図3および図4参照

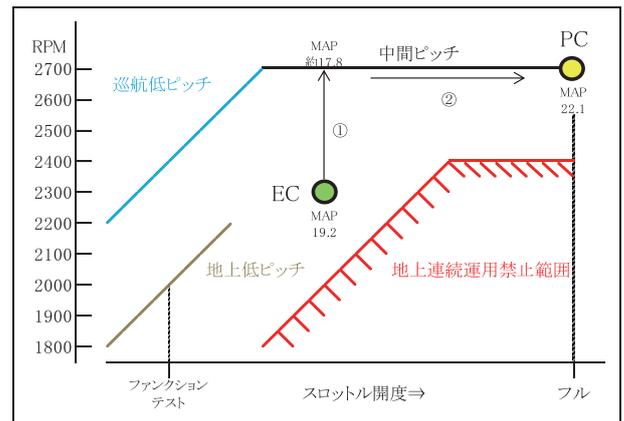


図3 ECからPCへ移行するときの操作 (A)

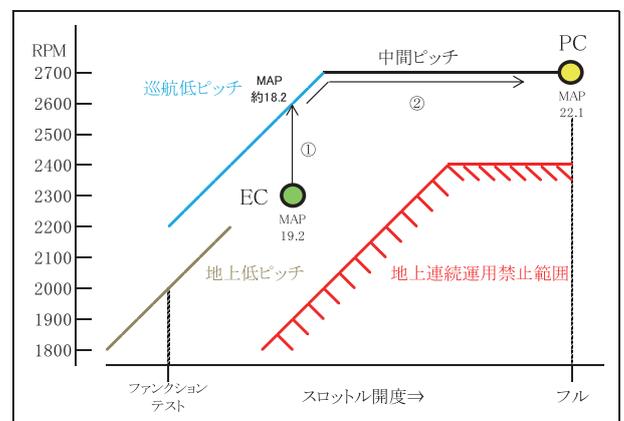


図4 ECからPCへ移行するときの操作 (B)

6.6 PCからECへ移行するときのレバー操作

③スロットル・レバーを最前方（フルスロットル）から手前へ操作し、実回転数が現回転数（2700）と目標回転数（2300）の中間付近2500RPMになるようにする。MAPはかなり減少する。図5および図6参照

④プロペラ・レバーをフルフォワードから手前へ操作し、実回転数が2300RPMになるようにする。MAPは増加する。プロペラ羽根角は中間ピッチ。図5および図6参照

⑤スロットル・レバーを操作し、MAPが目標の19.2in-Hgに調整する（移行完了）。図5および図6参照

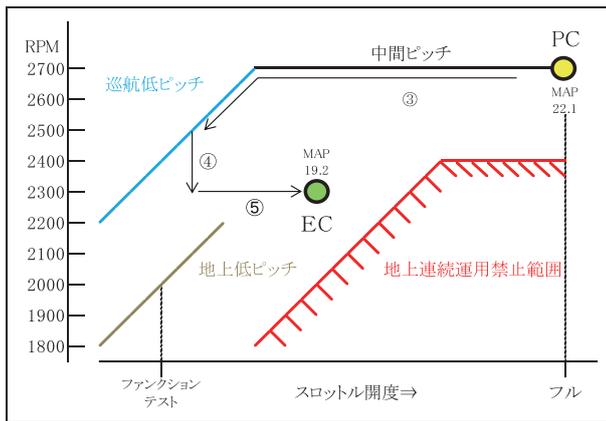


図5 PCからECへ移行するときの操作 (A)

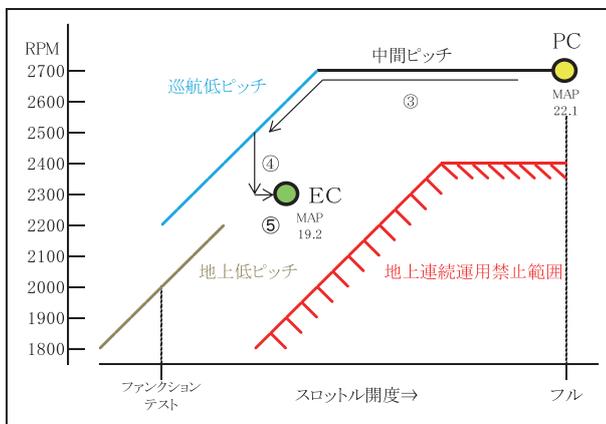


図6 PCからECへ移行するときの操作 (B)

6.7 レバー操作順の理由

出力レートを増加するにあたって①②の順を逆にした場合、図3および図4に示した連続運用禁止範囲を通過するまたは同範囲に近づくことになるからである。

出力レートを減少するにあたって③を行わず④⑤の順で操作した場合、図5および図6に示した連続運用禁止範囲を通過するまたは同範囲に近づくことになるからである。

7. まとめ

以上、多くの具体例はソカタ式TB10型のものであったが、新訓練機パイパー式PA-28R-201にも共通するところが多い。新訓練機のプロペラはほぼ同一型式、エンジンは混合気供給系統が気化器式から燃料噴射式に変わるが、同メーカー同規模のもの

であり、今回示した目的や具体的数値等を今後の参考にさせていただければ幸いである。

謝 辞

長年にわたりご指導いただきました諸先輩方、投稿を勧めていただきました近年の管理職の皆様、編集にあたりご協力いただきました周囲の皆様に感謝申し上げます。また、優れた訓練機材の維持・調達にご協力をいただいております関係者の皆さまに感謝申し上げます。

〈引用・参考文献〉

- [1] EADS SOCATA : TB10 PILOT'S OPERATING HANDBOOK, September 30, 1989.
- [2] 江守康一：航空用ピストン・エンジン，社団法人日本航空技術協会，1992年2月22日第1版第2刷。