航空機の計器表示と配列

長 沢 有 恒*

1. はしがき

地上に馴化してきた人間が、一たび空中に舞い上ると高度感覚や速度感覚があまりあてにならなくなる。初期の航空機やグライダーでは、飛ぶ高度も速度も低かったので、操縦者は、直接外界の流れや体感をたよりにできたであろう。しかし、より高くより速く飛行する近代機は、生来の感覚だけをたよりに操縦することは、およそ不可能となり、危険とさえなった。

従って、飛行によって乏しくなりがちな感覚を補佐し代行してくれる情報源が必要となってくる。おもに、操縦計器と呼ばれるものがその役割を果たすが、一般の機械系では見られない特殊なものといえよう。

ここでは航空機にみられる計器表示と配列の一般例を紹介し、若干考察を加えてみたい。

2. 操縦機器の一般配置

図1はYS-11の例であるが、この種の航空機の機器配置は次のようになる。

1) 左側は機長席で、前面のパネルには操縦計器類がある。右側は副操縦士席で、前面は同じように操縦計器がある。

2) 両者の中間のパネルはエンジン計器で、両方から目視できるようになっている。

3) 操縦席間の部分は、エンジンやフラップ等の操作具および通信関係のコンソールがあり、両方から操作で

きるようになっている。

4) 上方のパネルは、燃料や電気系統の操作パネルで操作分担の明確なものはそれぞれの頭上に、共通なものは中央に配置される。

以上の計器・機のうち、操縦計器とエンジン計器（主計器板）は、視覚表示器として、とくに重要な部分をしめる。従って、主計器板に配置されている計器の具体例についてのべてみる。

3. 計器の種類と表示

航空機に用いられている計器を目的別に分類し、その表示例を示すと次のようになる(図2参照)。

図1 航空機の操縦室配置例(YS-11)
Fig.1 Cockpit arrangement of YS-11 plane

* 航空医学実験隊人間工学班, Dept. of Human Engineering, Aeromedical Laboratory.

図2 計器表示の模式図

Fig.2 Schema of display arrangement of aircraft instrument

(1) 操縦計器類

航空機を操縦するのに最も重要なもので、自機がどんな姿勢で、どれ位早く飛んでいるか、などを指示するものである。

1) 速度計：図2の例は、プロペラ機に多く用いられているもので、単位はノットあるいはキロ/時で指示される。例えば、離陸時は120ノット、巡航中は130ノット、着陸時は100ノットの速度を維持しなければならない。これがジェット機になると、プロペラ機のように対気速度で指示するのに不都合があり、音速を単位としたマッハ数で表示されるようになる。

2) 姿勢指示器：この計器は自機のピッチとバンク角

を示すものである。図2の水平線上に、自機を後方からみた固定表示があり、下半の黒い部分は水平線より下方を意味し、上半の白い部分は上方を意味する。又、水平線の傾斜は、自機からみた水平線の傾きを示し、図では自機が左に傾き、しかも下方（下降）に向っていることを示している。

この計器は、とくに雲中や夜間飛行時など、外界の視覚の手掛かりが無いような場合は、重要な情報源となる。

3) 高度計：図2の例は、伝統的に用いられてきたいわゆる三針式高度計である。単位はフィートのものが多く、長針は百単位、中針は千単位、三角ポインター付の細針は万単位を示す。従って、図では三百八十フィート

図3 種々の高度計の判読性の比較 (Greather)

Fig 3 Comparison of legibility among various altimeters (Greather)

ということになる。この方式の高度計は、三針を混同せずに読みとらねばならぬ不便さがあり、古くから議論的となってきた。

図3に、各種高度計の判読性に関する、実験例を示した。この図からわかるように、三針式のものが不都合が多いので、最近、単針式のものが用い込まれている。又後述のように、縦型表示のものも台頭しつつある。

4) 旋回計：航空機が旋回する場合は、ある程度バンク角をとりながら旋回する必要がある。この場合、傾斜角に応じた均合旋回をしないと、航空機は横すべりをおこし、うまい旋回ができなくなる。図2中、上の標識は旋回傾斜角を示し、左傾斜の場合は左の方へ指針が傾く、左右の目盛は、例えば $180^{\circ}/分$ 、といった旋回率を示す。下の黒いボールは、均合旋回をしているかどうかを示すもので、左旋回の場合、合力が不適當であると、ボールは中心から右の方へスリップしてしまう。

5) 昇降計：航空機が上を向けば上昇するとは限らない。適切な速度を維持しないと、上を向いていても上昇せず、かえって失速し降下してしまう。上を向いているか下を向いているかの情報は、前述の姿勢指示器で示され、昇降計は零を境界に、毎分当りの昇降高度を示すものである。例えば、プロペラ機では五百フィート/分とか千フィート/分というように指示される。

(2) 航法計器類

自機の進んでいる方向や進むべき方位、あるいは自分の位置などを知るためのものである。この意味で、操縦計器と同様に、操縦者の感官や判断を補佐してくれる指示器といえよう。

1) 進路方位指示器：一例を図2に示してあるが、上部の黒いマークが機首方向（固定）を示し、目盛板が零を北として回転する。この回転は、航空機の進路方向に伴って表示されるから、自機の進んでいる方位が解ることになる。中央の指針は、航空路や飛行場などから発信されている電波の方向を指示し、これで進むべき方向や、ズレなどを知ることができる。さらに、開窓のカウンターから、発信局までの距離を知ることでもある。

2) コース指示器・航空事故などの例をみても解るように、着陸時のものが意外と多い。これは、着陸時の飛行がいかに問題と困難さがあるかを示しているものである。コース指示器は、悪天候や夜間の着陸時に用いるもので（計器着陸）、自機の進入角やコースが横の指針と縦の指針で与えられる。操縦者は、両指針が中央で交叉するように操縦すれば、正しい姿勢で滑走路に着陸できるわけである。

3) レーダー：レーダーには前途の気象を知るものや

地形をスコープに映し、航法の助けとするものがある。

(3) エンジン計器類

動力源であるエンジン系や燃料系の作動状況を指示するもので、一般機械系に見られる指示器と、本質的な相違はない。この計器類は、機種やタイプにより、表示もいろいろ異なるが、一般的なものあげると、次のようになる。

1) エンジン回転計：エンジンの回転数は、動力源のうち最も重要であり、航空機の揚力や推力に直結するものである。プロペラ機では、その回転数を指示し、ジェットではタービンの回転数が指示される。

2) エンジン温度計：一般に、シリンダ内の温度を指示するものである。

3) 燃料計：エンジンに流れ込む燃料流量あるいは残燃料が指示される。

4) その他、各種圧力計など。

(4) 機体計器類

離着陸時には、車輪や翼（フラップ）の上げ下げをしなければならないが、操縦者は自分の真下の車輪や翼を見ることができない。このような機体の状況を知るため特定の指示器が必要となる。

1) 脚上げ下げ指示器：三つの車輪が、完全に上げ下げになっておれば、緑のランプがつき、不完全な場合は赤ランプがつく。又、着陸時に、車輪を出し忘れても赤ランプがつく仕掛けになっている。さらに、図のような車輪の形をした操作具に赤ランプを内蔵し、トラブル時に赤ランプが点滅するようになっている。

着陸時の車輪の出し忘れが案外多い。このように、形や視覚コーディングをすることにより、操縦者のミスを軽減しようとしている。

2) フラップ指示器：これも絵画的表示のもので図の例のようなものがある。これで、フラップがどんな状態になっているかを知ることができる。

3) その他

(5) 保安計器類

操縦者や旅客の安全上あるいは保安上必要なもので、機内温度や気圧あるいは酸素供給関係の指示器がある。これらのうち、とくに、警報信号の表示についてのべる。

表1は、警報信号の種類と意味区分などを示したものであるが、一般的には重要度の段階に応じた、赤、橙緑のランプ表示のことが多い。そしてその配置は、図2のように、関連ある計器やコンソールに近接した、いわゆる分散配置をとっているのが多い。

しかし、システムが緻密化しつつある近代機では、点

表1 警報信号の種類と意味区分

Tab 1 Kinds and means of warning signals

(感覚)	(表示方式)	(表示の質と意味)(重要度)	(備 考)
視覚表示	ラ ン プ	赤：危険・故障	A
		橙：注意・不良	B
		緑：安全・正常	C
	マ ー ク	赤：最大・最小域	A
		黄：注意	B
		緑：正常域	C
聴覚表示	ホ ー ン	ベル：危険・故障	A
		ブザー：注意・不良	A
		チャイム：注意	B
	ラ ベ ル	文字：状況や意味 の文字表示	A B
触覚表示	ボ イ ス	声：状況や意味の 直接表示，ま はた緊急処置 の表示	A B
	振 動	注意，危険	
その他(においなど)	ノッキング	ク ク	

たせるより、重要度の高い視覚信号との併用としているものが多い。聴覚信号で独自の意味をもたせるには、後述のように、ボイスアラーム方式がある。

一般に、航空機が大型化し、性能が向上するほど計器や信号の数が増え、複雑化する傾向にある。これらは、操縦システムの開発に伴ない簡素化されてもよさそうなものであるが、現状では、まだこの域に達していないくらいがある。

3. 計器配列

以上のように、航空機にはいろいろと数多い計器があるが、これらの配置法も表示法と同様に重要な事柄である。数ある計器のうちには、当然、重要度や互関性の高いものがあり、これをを知る手掛りとして表2があげられる。この表は、飛行条件別にどの計器がよく

検すべき箇所が増え、おのずと信号数も増えてくる傾向にある。このため、灯火を一ヶ所に集め、ラベル表示(文字)で信号表示の合理化を計る航空機が増えつつある。

視覚表示による信号に対し、ベルやホーンなどによる聴覚信号もあるが、これは、信号として独自の意味をも

く注視されるかをみたものである。これからわかることは、進路指示器、姿勢指示器および高度計が、いかなる条件でもよく注視されることである。又、速度計、昇降計なども注視されることがわかる。エンジン計器は、大体10%の注視率を示すが、これは左程重要ではないというのではなく、注視に時間をかけず、すみやかに Ch-e

表2 飛行条件別、計器注視時間(%)、(Fitts)

Tab 2 Percentage of eye fixation time of devoted to individual instruments under various flight conditions (Fitts)

飛行条件 計 器	水平直進	水平旋回	上 昇	上昇旋回	降 下	降下旋回	G C A 進入
進 路 指 示 器	37	26	20	23	21	24	49
姿 勢 指 示 器	25	29	24	28	22	25	19
速 度 計	7	12	24	16	24	19	17
高 度 計	13	12	7	7	7	6	3
昇 降 計	5	6	9	8	8	7	5
旋 回 計	3	6	3	5	2	5	2
エンジン計器類	2	4	15	9	12	10	4

図4 計器相互間のリンク解析 (Cole)

Fig.4 Eye-movement link values between aircraft instrument (Cole)

ck read することを示唆しているものである。

一方、図4は、眼の動きから各計器の互関性をみたものである。これから、速度計と進路指示器および姿勢指示器との間に、最も関連性があることがわかる。従って、重要度が高く互関性のあるものは近接配置されることになるから、図2のT型の枠組のような配列法が得られる。すなわち、姿勢指示と進路指示といった、定位や方向性を示すものは中央に置き、姿勢指示器の左右には、速度計と高度計が配置される。この配置法は、“T型基本配置”といって、航空機計器配列の基準ともなっている。

前述のように、航空機が大型化すると、エンジン計器類などが増えてくる。表2のように、エンジン計器はすみやかに Check read される必要があるから、この配列法も重要となる。図5は、4発のエンジン計器を配列する場合の例であるが、縦列にはエンジン番号順、横列は共通なシステムごとの配列をとり、各計器の指針が、

図5 エンジン計器の系統配置と指針の表示方法

Fig 5 Two pattern of dial pointers for indicating a “normal” condition

図6 指針を整列および非整列表示した場合の計器点検性 (Sanders)

Fig.6 Relative times required for check reading various numbers of dials (Senders)

正常状態で12時か9時の方向を指すように配列する。

このような配列法は、整列配置方式といって、図6のように異常箇所の早期発見、あるいは短時間に数多い計器を check read できるようになる。

以上のように、計画の配列は、操縦者の視線追跡や計器の重要度、使用頻度や互関性を検討して、配列されているといえよう。

4. 新しい計器表示と配列

より早く、より高く、より遠い飛行が要求されるこれからの航空機は安全な操縦系統の開発と同時に、合理的な計器の改善が必要となりつつある。この一つとして脚光を浴びているのに縦型計器 Vertical scale がある。

図7は、米国のC-141輸送機の計器配列を示したものであるが、このほかF-106、F-111といった高速機などにも装備されている漸新なものである。この縦型計器等について説明を加えると図8のようになる。

図7 C-141にみる縦型計器

Fig 7 Vertical scale instrumentation of C-141

図8 縦型操縦計器
Fig.8 Flight Vertical scale

すなわち、図の左から、迎え角指示器、マッハ計、速度計があり、それぞれの中央を横ぎっているのが固定指針である。各目盛は、黒テープに白字で描かれており、それぞれ上下に移動する。操縦者は、この固定指針部で所要の数値を読みとることになり、視線をあまりそらすことなく計器を見ることができる。又、それぞれの下部にカウンターがあり、正確な数値を読んだり、セットしたりすることもできる。

中央は姿勢指示器で、従来のものより大型化し、見易くなっている。姿勢指示器でとくに興味があるのは、バンク角を指示するポインターが、計器の下側を指していることである。これは図2と比較してみるとよく解るが、従来の対地関係表示から自機関係の表示に変わっている。すなわち、自機が左に傾けば、指針も左側に表示されるわけである。この方が、感覚的には自然であるとの理由で、長らく議論されていたものである。

右側の縦型計器のうち、左は昇降計で、三角のポインターが上下移動することにより、上下の方向性と昇降率が表示される。その右は、百フィート単位の高さ、一番右は千（二桁であるから、万と千になる）フィート単位の高さを示す。高度計も、中央部の横に固定指針がありテープの上下移動によって高度値や、変化度合を知るこ

- ①. 迎え角指示器 ②. 固定指針
- ③. マッハ指示器 ④. 危険速度標識(マッハ)
- ⑤. マッハ計故障指示器 ⑥. コマンドマッハ値
- ⑦. 速度計 ⑧. 危険速度標識(ノット)
- ⑨. 速度計故障指示器 ⑩. コマンド速度値
- ⑪. 姿勢指示器 ⑫. 進路方位指示器
- ⑬. 昇降計 ⑭. 昇降計ポインタ
- ⑮. 補正気圧値 ⑯. 100 ft 単位高度計
- ⑰. 500ft マーカー ⑱. 固定指針
- ⑳. 高度計故障標識 ㉑. コマンド高度値
- ㉒. 高度調節ノブ

とができる。この高度計で百単位の方が千単位のものより左側にあるのは、百単位の方が変化度合が大きく、頻繁に看視しなければならないので、中央部に配置した方が都合よいからである。

操縦関係の計器に対し、エンジン計器も図9のように縦型化しつつある。この場合の表示は、整列配置のところで述べたように、各表示レベルが通常状態（離着陸水平飛行時において）で、それぞれ一線上に並ぶようになっている。従って、操縦者は各飛行状態の表示レベルを憶えておればよく、計器を点検する場合は、横方向に check read すればよいことになる。

以上のような縦型表示で疑問になるのは、従来の円型計器に比べどれだけ長所があるのか、ということであろう。表3は、筆者らが行った実験結果を示し、従来の円型と最新の縦型との判断性を比較したものである。これによると、とくに高度計は三針式より縦型の方が読みとり時間が早く、誤りも少ないことがわかる。又、昇降計や速度計においては、読みとり時間に大差はないが読み誤りが少なくなる特長があることがわかる。

計器の開発改善に伴ない、警報信号系も変革しつつある。従来は、図2のように、赤や緑の灯火が分散配置されていたが、図7のようにラベル表示による集中配

図中の白ヌキ数字①は第1エンジン、②は第2エンジン、③は第3エンジン、④は第4エンジンを指示、計器は左よりエンジン・プレッシャーレシオ計、排気ガス温度計、タービン回転計、コンプレッサー回転計、燃量流量計を指す。

図9 縦型エンジン計器
Fig.9 Vertical scale of engine instruments

置方式となりつつある。操縦者は、それぞれの計器板中央のマスター灯がついたら、直ちに所定のラベルを見ればよい。このラベルには、あらかじめ文字が刻まれてあり、トラブル箇所や内容、または緊急処置が表示されるきわめて合理的なもので、このシステムは、従来の感覚的信号から、意味化へと発展したものと考えられ、信号の探索や解釈が省略される利点をもつものと言えよう。

一方、聴覚信号においても、単なるベルやホーンに止まらず、ボイスウォーニングというものが用いだされつつある。たとえば、必要な警報内容を女性の声で録音しておき、異常状態が発生すると、“車輪を降ろして”とか“第2エンジンをチェックして”とかの声が操縦者の

耳に入るわけである。このような方式もベルなどによる感覚的信号から、直接、意味情報として表示されるところに大きな特長がある。

5. むすび

航空機にみられる計器表示と配列の一般例を紹介し、人間工学的説明を加えた。航空機の計器は要求性能上、表示や配列が、かなり合理化されているものといえる。

しかし、くり返しのべたように、機械が大型化しシステムが複雑化すると、観視しなければならない表示器も増えるきらいがある。時計店的に表示物がはらんせぬように心掛けるべきである。

参考文献

1. 横堀 栄，平嶋侃一監修：スピードと人間工学—航空人間工学—。三田書房。昭和42年。
2. 長沢有恒，荒巻定仁他：計器の見えに関する研究。第8回日本人間工学会発表抄録。
3. 長沢有恒，平嶋侃一：Y S-11 操縦系の人間工学的検討，人間工学 2 (2)。1966。
4. Wulfeck, J. W et al : Vision in Military Aviation W. A. D. C. Technical Report, 58—399, USAF, 1958.
5. Grether, W. F : Analysis of Types of Errors in Reading of the Conventional Three-pointer Altimeter. A. M. L Report MCREXD—694—14 A, March, 1948.
6. Fogel L. J : Biotechnology, Concept and Application. Prentice Hall, 1963.

表3 丸型計器と縦型計器の判読性の比較(長沢，荒巻)
Tab.3 Comparison of legibility between round and vertical instruments
(Nagasawa, Aramaki)

	判読時間 Sec (SD)		誤り率 (%)	
	○	□	○	□
高度計	1.2 (0.5)	*0.4 (0.1)	6.8	*3.0
昇降計	0.6 (0.1)	0.4 (0.1)	2.4	*1.6
速度計	0.6 (0.1)	0.5 (0.1)	1.4	*0.6
比較計	0.7 (0.1)	0.6 (0.1)	0.2	0.2

※ 1%の信頼水準で有意差あり