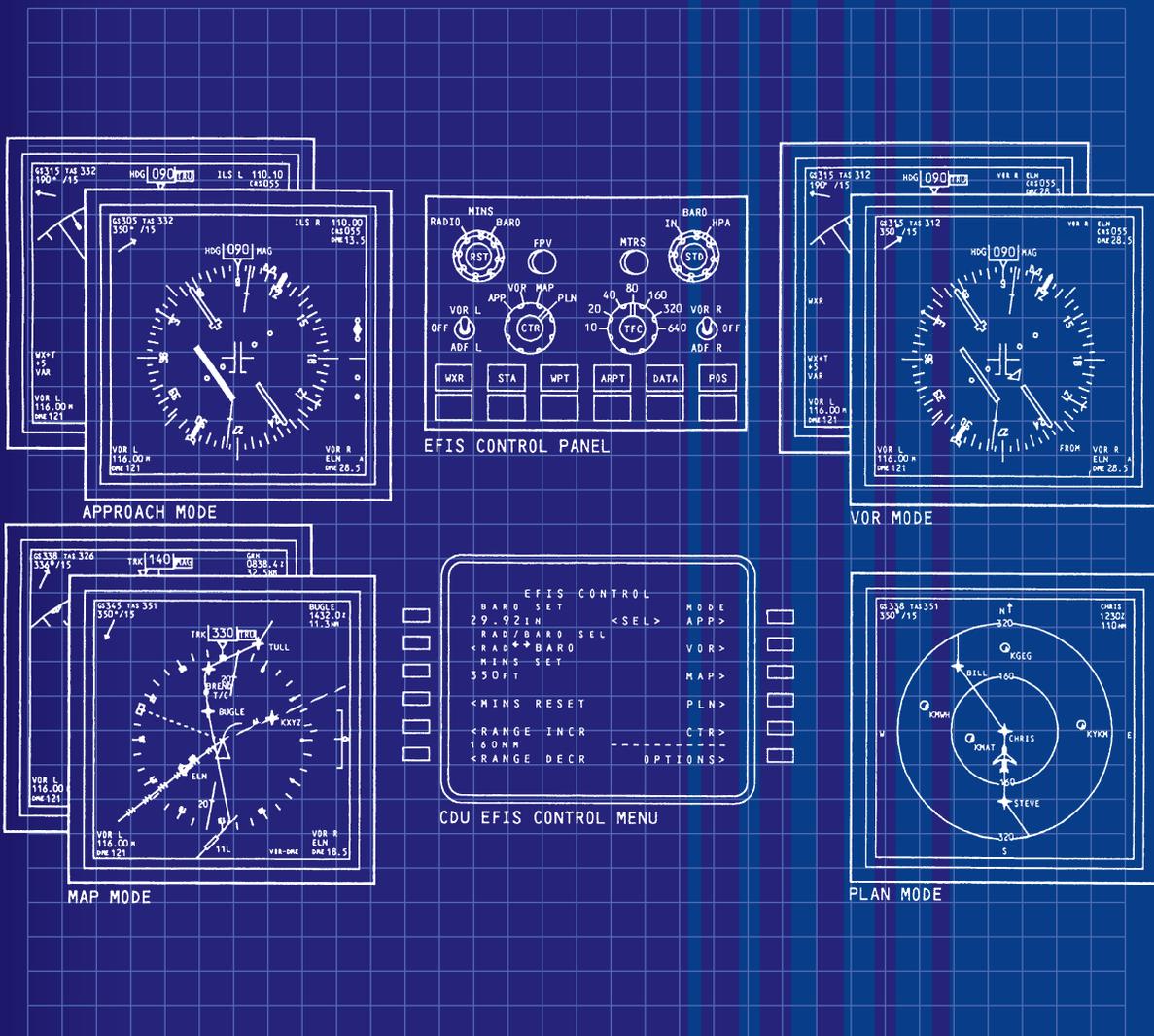


航空計器

Instrument



目 次

第1章 計器一般に関すること	1
1-1 重要なことから	1
1-2 計器の保守	1
1-3 航空計器の生産	2
1-4 航空計器の特徴	2
1-5 航空計器の外箱	5
1-6 工場封印	5
1-7 照 明	5
1-8 計器の色標識	7
1-9 計器板	8
1-10 まとめ	12
第2章 計器の装備	13
2-1 一般事項	13
2-2 計器の取り外し	13
2-3 計器の取り付け	14
2-4 計器の配管	14
2-5 計器の配線	15
2-6 まとめ	16
第3章 空盒計器	18
3-1 一般事項	18
3-2 大気圧力と標準大気	18
3-3 空 盒	19
3-4 高度計	22
3-5 対気速度計	28
3-6 昇降計	35
3-7 ピトー・静圧系統	37
3-8 まとめ	41

第4章 圧力計	43
4-1 一般	43
4-2 圧力受感部	43
4-3 ベロー	45
4-4 ブルドン管	46
4-5 絶対圧とゲージ圧	47
4-6 滑油圧力計	47
4-7 吸気圧力計	49
4-8 吸引圧力計	50
4-9 EPR計	52
4-10 その他の圧力計	54
4-11 まとめ	54
第5章 温度計	56
5-1 一般	56
5-2 電気抵抗の温度による変化	57
5-3 熱起電力	57
5-4 滑油温度計	59
5-5 シリンダ温度計	60
5-6 ガス温度計	62
5-7 外気温度計	65
5-8 まとめ	66
第6章 回転計	67
6-1 一般	67
6-2 直接駆動式回転計	69
6-3 電気式回転計	70
6-4 電子式回転計（Ⅰ）	70
6-5 電子式回転計（Ⅱ）	72
6-6 電子式回転計（Ⅲ）	74
6-7 同調表示器	74

6-8	まとめ	75
第7章	液量計・流量計	76
7-1	液量計一般	76
7-2	流量計一般	82
7-3	まとめ	89
第8章	ジャイロ計器	91
8-1	一般	91
8-2	ジャイロの性質	92
8-3	ジンバルと自由度	94
8-4	ジャイロのドリフト	96
8-5	水平儀と姿勢指示器	97
8-6	定針儀	104
8-7	旋回計	107
8-8	レーザ・ジャイロ	109
8-9	まとめ	111
第9章	磁気コンパスと遠隔指示コンパス	113
9-1	一般	113
9-2	地磁気	113
9-3	磁気コンパス	114
9-4	磁気コンパスの誤差	115
9-5	自差の修正	120
9-6	遠隔指示コンパス	124
9-7	まとめ	129
第10章	電気計器	131
10-1	一般	131
10-2	シンクロ	131

10-3	交流レート・ゼネレータ	140
10-4	サーボ	141
10-5	デシン	143
10-6	マグネシン	145
10-7	超小型シンクロ	145
10-8	まとめ	146
第 11 章 その他の計器		149
11-1	一般	149
11-2	時計	149
11-3	滑り指示器	150
11-4	トルク計	152
11-5	位置計	154
11-6	まとめ	157
第 12 章 エア・データ・コンピュータ		158
12-1	一般	158
12-2	CADC の概要	158
12-3	物理量・電気信号変換部	160
12-4	気圧高度計算部	160
12-5	高度応答信号発生部	160
12-6	昇降速度計算部	160
12-7	最大運用限界速度発生部	161
12-8	マッハ数計算部	161
12-9	CAS 計算部	162
12-10	TAT 計算部	162
12-11	SAT 計算部	162
12-12	TAS 計算部	163
12-13	その他の機能	163
12-14	まとめ	163

第 13 章 集合計器	165
13-1 概 要	165
13-2 RMI	165
13-3 HSI	168
13-4 ADI	170
13-5 統合電子計器	174
13-6 まとめ	190
練習問題	192
練習問題解答	203
索 引	207

第1章 計器一般に関すること

1-1 重要なことから

航空機の安全性、信頼性、経済性は、もちろん計器のみが負うべきものではないが、その預かるところは極めて大きい。

これは計器を使用するというだけでなく、その計器の指示が意味するところを適確につかみ運用する人を得てはじめて達成できる。したがって、計器の正確さ、整備、検査は極めて重要なものとなる。

一面、航空機の進歩とともに計器もまた性能的、機構的に進歩しているので、航空機関係従事者は、それら全般に対する知識を持たなければならない。また知っているがために陥る不用意な取り扱いには厳につつまなければならない。

1-2 計器の保守

計器を知るためには、それらが装備される航空機の諸系統の内部構造、機能、さらに航空機の運航などにも関連があるので、諸系統に対する理解と運航に関する知識も必要である。また、計器自体にしても、機械計器、電気計器、電子計器、ジャイロ計器などがあり、それらの取り扱い、修理、維持、試験、検査などの作業に精通することを要求される。

このような知識のもとで、はじめて計器の取り外し作業、取り付け作業、故障原因の探究、診断など計器の機能を左右する大切な仕事に責任を持たされ、まかされるのである。また、飛行前の航空機の点検なども計器を通じて最も適確に行うことができる。

計器の分解は、航空法では航空機の大修理に該当し、国土交通省の立ち会いが必要である。しかし、このような煩雑さを少なくするため、国土交通大臣が支障ないと認めた事業所において行う場合には、立会検査を行わなくてもよいように修理認定が与えられている。

1-3 航空計器の生産

生産は日常の航空機の維持には直接関係ないが、どのように造られているかということを知ること、それを取り扱う上で参考となると考えられる。

まず、生産された航空計器は、航空機の安全性を確保する面から国土交通省の立会検査なしでは、これを航空機に使用することができない。また航空計器の中で指定された計器については、経済産業省の製造証明がなければ、売渡すことができないように、特殊精密工業に対する産業行政の面から規定されている。

航空計器を生産する場合に準拠すべき規格として JIS の航空関係規格が制定されている。このほか、わが国の民間航空再開時からの当然のなりゆきとして、米国製の航空機が多いため、これらに装備されている航空計器が製造されたときの準拠規格として MIL 規格（米国軍用仕様書）や、AS 規格、TSO 規格なども前記 JIS 規格と同様に用いられている。

航空計器の生産に関しては、型式承認の制度があり、前記規格による検査を行って、これに合格したものと同程度のものが生産し得ると認められた場合に型式承認を与え、生産された計器に対しては各個検査（製品検査）だけの立会検査を行って、航空機に用いてよいことになっている。

1-4 航空計器の特徴

航空計器に特に要求されるものは信頼性である。それは地上の良好な環境の下における信頼性のみでなく、種々の飛行条件のもとにおける信頼性である。

航空機の場合は、温度、気圧、姿勢、実効重力などが大幅に変化するため、これらを組み合わせた環境のもとで十分な信頼性があるものでなければならない。さらに軽量、小型であることが基本的に要求される。

1-4-1 重量

機体の有効積載量を大きくするために、計器に限らず航空機のすべての部分は、できる限り軽量であることが要求される。

1-4-2 大きさ

多発エンジンの機体では計器の数が多くなり、また安全な飛行を行うための航法計器の種類が増加に伴い、計器の数は増加するが計器板の収容能力に限界があるので、計器は小型化する必要がある。しかし、計器の種類によっては、その必要性から、ある程度以上に小型化することができないものもある。計器の小型化は、一般的に表示面の面積を小さくすることである。そのため、同一のケース

1-4 航空計器の特徴

内に多くの機能を組み込み、与えられた面積を有効に利用できるようにした計器が用いられるようになった。さらに液晶やCRT等電子表示器を用いて多くの情報（グラフィカルな計器の表示、数字または記号による表示、文章による表示など）を選択表示できるようにしたものも用いられている。

1-4-3 耐久性

計器は、その精度をできるだけ長時間、保持することが望ましいが、計器によってその期間は長短がある。製造者は、もちろんその品質の向上と均一化をはかって、耐久試験を行っている。使用者側では一般的に耐久試験は行わないが、過去の経験に基づいて安全使用時間を定めている計器もある。

安全使用時間には次の2つがある。

- (1) 一定時間ごとにオーバーホールを行って、信頼性を保って行くもの。
- (2) 一定時間ごとに精度などの点検を行って、信頼性を保って行くもの。

また、計器の種類によっては、航空機の日常の運航で精度、機能などが確認できるものもある。このようなものは定期的な整備は行わない。

1-4-4 環境条件

航空機は、激しく変化する大気の中を飛行するため、温度、気圧、姿勢、加速度、振動などの影響が少ないことが要求される。

1-4-5 常温器差

製造時には高低温誤差試験を行い、温度による影響が一定の範囲内であることが確かめられている。その後は特別な修理作業を行わない場合は、常温における誤差、機能を知ることにより指示誤差などの確認を行う場合が多い。

1-4-6 漏れ

航空機に装備される計器は、その周囲の気圧が大きく変わるため、受感機構はもちろんであるが、これを内部に持つ外箱（ケース）の漏れも誤差の原因となるものがある。特に昇降計、高度計、速度計などの場合には使用できないようになる。特に与圧がある場合には注意が必要である。

1-4-7 摩擦

機械的な軸受、歯車を用いている計器では摩擦による誤差を完全になくすことはできない。そのため、器差試験を行う場合には、計器に軽打を与えるか、軽振動台の上で検査を行っている。

計器を使用する面では、ピストン機ではエンジンによる振動が大きいいため、計器を装備する計器板に防振装置を付けて計器に対する悪影響を取り除くようにしている。しかし振動が残るため、摩擦誤差を取り除くという点では何ら考慮する必要はない。しかしジェット機の場合は、エンジンの振動が

少ないので、摩擦誤差を取り除くため、計器板に加振装置を付けたり、または計器に加振装置を内蔵したものもある。

1-4-8 温度補正

航空機が遭遇する温度条件としては、炎天の酷暑から急に高空の零下数十度というような場所に変わるため一般の計器とは相当異なる温度補正が必要となる。もちろん、計器が装備される場所、航空機の性能などによって左右されるが、航空機用計器として一般に検査温度は $-65\sim+70^{\circ}\text{C}$ が用いられている。この 135°C に及ぶ温度変化に対して、計器は自動的に補正され作動するように設計、製作されているが、これも完全というわけではなく、実用面、経済面などから、ある程度の誤差は許されている。さらに、遭遇条件として、気圧の変化も加味され検査を必要とする計器もある。

1-4-9 振 動

航空機の振動は主としてエンジン、プロペラ（または回転翼）からのもので、機体の全域に伝わり計器を取り付けた計器板も例外ではなく、これらの回転速度に一致した振動数およびその高調波の振動を受ける。また装備された場所によっては、エンジンの爆発衝撃と上記の振動を合成したものを受ける。この振動に対しては計器板に防振装置を付け、計器に害を及ぼさないようにしている。一方、計器側では、計器は必ず振動を受けるものとして留意して製造される。

1-4-10 湿 度

航空機が雨中の飛行を行った場合、または野外けい留などにより直接、または温度変化による間接的な湿度上昇に対して影響を受けることのないように、計器はその内外部に防錆処置が施され、外箱によって密閉されている。また完全密封して不活性ガスを充填したものもある。

1-4-11 塩 霧

水上飛行機または飛行艇の場合はもちろんであるが、海に近い飛行場などでは、絶えず潮風にさらされ、航空機の受ける影響は大きい。計器も塩霧による影響が最小限になるように作られている。

1-4-12 カ ビ

航空機は広範囲にわたって行動するため、また胴体内および翼内は密閉された状態にあるため、多くの種類のカビの影響を受けやすいと考えられる。過去の経験からも、カビの発生が電氣的な故障および精密機械の故障の原因であったことが知られている。

カビの対策として、航空計器は、その主要箇所および外部に抗菌塗料を塗装している。

1-4-13 気圧の変化

航空計器は、大幅な気圧の変化にさらされるため、その影響がないように作られている。密閉が不完全なものは、気圧変化による呼吸作用で計器内部に湿気、カビが吸入され面ガラスの曇り、絶縁不良などの不具合が現れる。

1-5 航空計器の外箱

航空計器に用いられる外箱は種々あるが、主に次のものが用いられている。

(1) プラスチック製の外箱

外部から、または内部から電気的および磁気的な影響を受ける（または及ぼす）おそれがないような計器に用いられている。このケースの特徴は、製作が容易であり、金属ケースのように塗装の必要がない。前面は、計器板に取り付けた際の有害な反射を避けるため、ツヤ消しにする必要がある。

(2) 非磁性金属製の外箱

材料としては主にアルミニウム合金が用いられる。アルミニウム合金は、加工性、機械的強度、価格などの点で有利であり、また電気的な遮蔽効果も優れているため広く用いられている。

(3) 鉄製の外箱（磁性材料）

航空機の計器板には多くの計器が近接して取り付けられるため、磁気的および電気的な影響を受け（または及ぼし）やすい。電気的な影響は(2)で説明したアルミニウム合金などの非磁性金属材料で遮断できるが、磁気的な影響を断つためには鉄製の外箱が必要である。鉄製の外箱の場合には、もちろん、電気的な影響を断つこともできる。また機械的な強度も大きく、外箱としては優れているが、重量が大きくなるという大きな欠点がある。そのため(1)または(2)と組み合わせて、合計重量が小さくなるように工夫されたものもある。

1-6 工場封印

航空計器の場合にも一般の計器と同様にメーカーが、その機能に関して責任を持つという意味から、また資格のない人によって内部機械に手がつけられることを防ぐために、計器のどこかがメーカーによって封印されている。この封印は、それを外すことなしに内部に手を触れることができないようなねじ部の頭に施されている場合が多い。

1-7 照 明

計器板には

- (1) 計器
- (2) 1つの計器で数箇所から送られてきた量を指示させるための切替装置（例えば切替スイッチ）
- (3) 切替装置の位置を示すR（右）、L（左）、UP（上）DN（下）などの文字
- (4) その他

が取り付けられている。そのため実際に計器を使用する場合には

- (1) 計器の照明（文字板の照明）
- (2) 計器板全般の照明

が必要となる。

晴、曇、日出、日沈、夜と大きく明るさが変わる機外に注意をはらっている操縦者の目から見て、常に適切な明るさで計器の読み取りと、その操作が行えなければならない。そのため計器および計器板の照明は、広い範囲にその明るさの調節ができるようになっている。

1-7-1 計器の照明

計器の指示を読み取るためには、文字板に書かれた目盛および指針の位置（デジタル方式のものでは数字または文字）のみが見えればよい。そのため文字板の地色は黒になっている。暗い機外に注意をはらっている操縦者の目の場合は、文字板の目盛および指針も、その時点で最も適切な明るさが必要である。明る過ぎても暗過ぎても都合が悪いことになる。このような理由で、計器の照明は

- (1) 計器の内部に、電球（白熱電球）を組み込んだ、インテグラル・ライト（Integral Light）方式（図 1-1 (a)）
- (2) 計器に近接した位置に計器板に小さな照明器具を取り付けたピラー・ライト（Pillar Light）方式（図 1-1 (b)）

で行われ、目盛および指針以外はできる限り見えないようにしている。

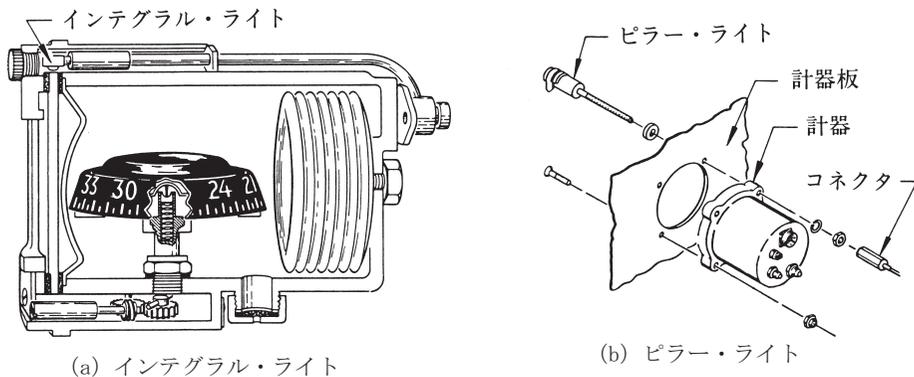


図 1-1 計器の照明

1-7-2 計器板全般の照明

計器板に取り付けられた切替装置、文字、記号など見やすくするため計器板全般の照明も必要である。この照明も自由に明るさが調節できるようになっている。光源は白熱電球または蛍光灯が用いられている。夜間の飛行で頻繁に用いられるものは、計器板の内部に照明器具を取り付けて見やすく工夫されているものもある。

1-8 計器の色標識

計器の色標識は、計器の文字板または面ガラスに、その機体の運用限界などを色によって表示したものである。航空機ごとに運用制限、最大運転限界、最低運転限界を標示または色標識を用いて表示するよう耐空性審査要領で定められている。耐空性審査要領では、揭示板による表示、または色標識を用いる表示のいずれでもよいことになっているが、色標識による表示の方が多く用いられている。

色標識の内容は次のように定められている（図 1-2）。

(1) 赤色放射線または赤色線

- (a) 速度計の場合は赤色放射線で超過禁止速度 V_{NE} 、および最小操縦速度（1発不作動時） V_{MC}
- (b) 動力装置の場合は赤色放射線または赤色線で、安全な運用のための最大限界および最小限界
- (c) 回転計の場合は赤色弧線または赤色線で過度の振動応力を生じるために制限を要する発動機またはプロペラの回転速度範囲
- (d) 燃料油量計の場合は赤色弧線で較正 0 からタンクの使用不能燃料（3.8 l またはタンクの容量の 5 %）

(2) 緑色弧線または緑色線

- (a) 速度計の場合は緑色弧線でフラップ上げ、脚上げの V_{SI} を下限とし、最大巡航速度 V_{NO} を上限
- (b) 動力装置の場合は緑色弧線または緑色線で、安全な運用のための最大限度および最小限度

(3) 黄色弧線または黄色線

- (a) 速度計の場合は黄色弧線で、赤色放射線と緑色弧線との間の警戒範囲
- (b) 動力装置の場合は黄色弧線または黄色線で、離陸および警戒運用範囲

(4) 白色弧線

速度計のみで、フラップ操作範囲（ V_{S0} を下限とし、 V_{FE} を上限とする。）

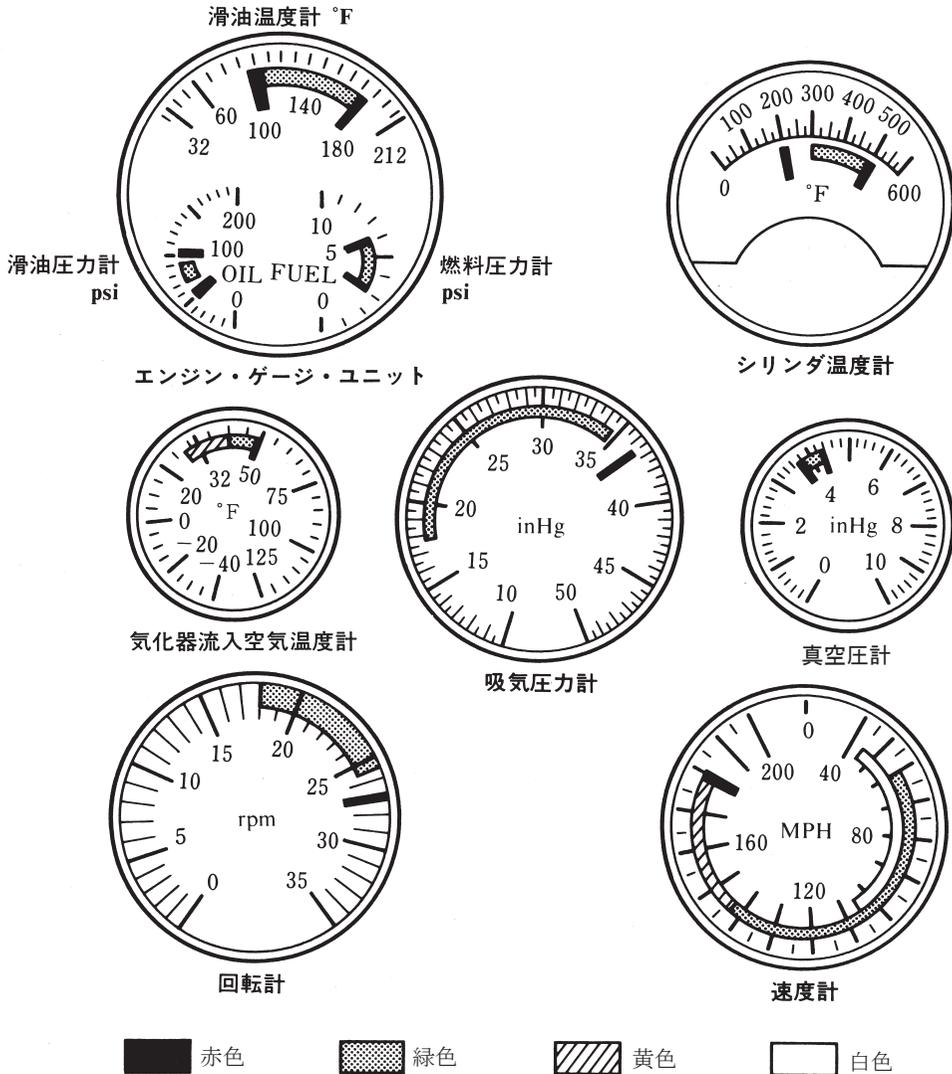


図 1-2 計器の色標識

1-9 計器板

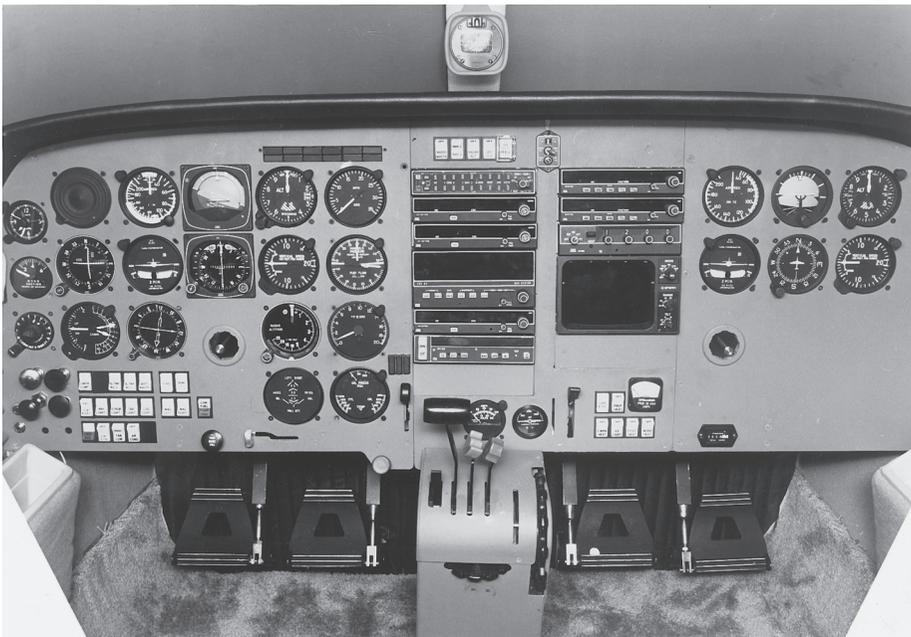
1-9-1 計器の配置

主要計器の配置については、1957年に米国FAAが勧告し、ALPA（Air Line Pilot Association）が支持したT型配列と呼ばれる配列法が広く採用されている（図1-3（a）、（b））。

T型配置の基本形は、第一にパイロットが高度、速度、飛行姿勢についての正しい指示を得れば一応安全に飛行することができるので、これら3つの要素を指示する計器を、姿勢指示計を中心として



(a) T型配置



(b) 小型機の計器パネル

図 1-3

左側に速度計、右側に高度計、そして真下に方位指示計を配置し、ちょうどT字型になるようにしたものである。T字型の中心が姿勢指示計であり、パイロットの前方視線の中心と一致する。このように配置された計器板が左右（機長席前方および副操縦士席前方）に装備される。

他の計器は、これらを基本として、それぞれ重要度に応じて配置される。

エンジン関係計器は中央計器板（前述左右計器板の中間）に配置されている。

747-400 以降の航空機は統合電子計器 PFD（Primary Flight Display）と ND（Navigation Display）および EICAS（Engine Indication and Crew Alerting System）が横一列に配置されている。

計器の配置および視認性については、『耐空性審査要領』の6-2-1項を参照されたい。

1-9-2 計器板

計器板の材料は、その上または近くに磁気コンパスが装着されるため、非磁性材料が用いられている。また多数の計器を装着してたわむことのないような剛性のある材料および構造でなければならない。これらの要求を満たし、できるだけ軽い材料ということで熱処理硬化したジュラルミン板材が用いられている。

計器板の取り付けは通常、機体との間にゴムなどの緩衝器を用いて振動から計器を保護している。計器板の塗装は、有害な反射光がないように、艶消し黒、艶消し茶などが多く用いられている。次に代表的な計器板について説明する。図 1-4 参照。

a. 大型固定翼機の場合

大型機の場合には計器の数、視界、操作との関連性などを考慮し、図 1-4 に示したように配置されているものが多い。

(1) 主計器板（Main Instrument Panel）

主計器板は、ウインドシールドの下部に取り付けられており、計器板に向かって左から機長計器板（Captain's Instrument Panel 図中の①）、中央計器板（Center Instrument Panel 図中の②）および副

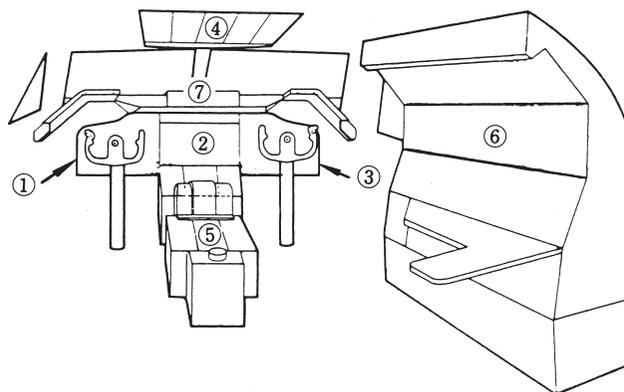


図 1-4 計器板