航空機用機器の気象的環境の試験方法について*

中 野 平**

1. ま え が き

最近、装置や機器の性能が高度化し、複雑化する一方、その安全および信頼が技術課題となってきた。その解決手段の一端として環境試験も実施されている。一般に航空機とう載機器は一般の地上機器よりより安全で信頼のおけるものでなければならぬため、環境試験もおのずと厳格な試験が要求される。

環境試験を大別すると気象的環境と機械的環境とに区分することができ、ここで述べる気象的環境とは、機器が遭遇する外周の条件で温度、湿度、気圧、日射、降雨、塩霧、砂塵およびかび等が含まれるこの因子の試験を気象的環境試験と称している。これに関連する代表的な試験規格としては、日本工業規格、防衛庁規格、米軍規格 (MIL 規格) 等がある。前二者は米軍規格 (以下 MIL 規格という) をもとにしたもので、当所でも航空機およびとう載機器等については米軍のものに類似している。主として MIL 規格に準じた試験を実施している。その規格 MIL-STD-810 C Environmental test methods をもとにした気象的環境の試験方法について紹介する。

2. 試 験 項 目

気象的な環境試験の項目と目的とをあげると第1表に示すとおりである。

試験する機器 (以下供試品という) は第1表中の試験を全部実施することは不経済であるので供試品の使用目的および遭遇するであろう環境条件を考慮し選択実施するのが一般的であり、要求された環境をいかに忠実にシミュレーションするかが第1の条件である。

以下試験項目順にその試験方法について述べる。

3. 試 験 方 法

供試品は試験の前後次の条件下で機能等の試験を行ない比較しなければならない。

大気温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ deg}$

相対湿度 $50 \pm 30\%$

気 圧 $725 \pm 50 \text{ mmHg}$

試験中供試品は作動させるのと、非作動のいずれかで行なわれる。

3.1 低圧 (高度) 試験 供試品を高度 4,500 m 相当圧下に1時間放置後その高度で作動させる。別に1,200 m 相当圧下に放置し供試品がその高度で耐えるか否かの試験もある。高度の変化率は 600 m/min 以下でとくに温度の規定はない。

この試験の供試品にあたる影響として気密性の容器からの気体または液体の漏れ、加圧容器の破壊、電気回路のアーク放電やコロナ放電による誤作動の可能性がある。

3.2 高温試験 この試験には方法 I と II があるが、ここでは方法 I について述べる。温度 71°C または供試品の仕様に定められた温度で相対湿度は 15% 以下の条件下で 48 時間放置、その後供試品が作動する設計最高温度とし、供試品の温度が安定するまでその温度を維持し、供試品を作動させる。試験温度の変化率は 10°C/min 以下であること。ここで供試品の温度測定点をどこに定めるかによって試験が有効であるか否かが定まる。とくに大型な供試品ほど測定点を慎重に決めなければならない。

この試験の影響としては材料の膨張差による亀裂、ふくらみ、ひび、割れ、部分的な溶けや他の部品等の溶着が起こる。

3.3 低温試験 温度条件 -57°C または供試品の仕様に定められた温度で 24 時間放置後、供試品が作動する設計最低温度にし、供試品の温度が安定するまでその温度を維持し、安定したのち作動させる。試験温度の変化率は 10°C/min 以下である。

この試験の影響としては、金属部品の作動機構の不良、材料の弾性劣化、潤滑剤の凝固等が起きる。

この試験で注意しなくてはならないのは試験中なんらかの異状等がないかぎり試験槽または装置の扉は開放しないことととくに外気の湿度が高いときは扉を開放すると槽内の供試品および槽内温度検知器等に霜や氷結を生じ試験の続行が不可能になることがある。とくに小型の試験槽は注意しなければならない。

3.4 温度衝撃試験 供試品を温度 71°C に少なくとも 4 時間放置した後、5 分以内に温度 -57°C 下に移し 4 時間放置する。その後再び 5 分以内に温度 71°C

* 昭和 52 年 11 月 7 日原稿受理 Equipment Install in Airplanes for Weather Environments Test Methods

** 防衛庁技術研究本部 Taira NAKANO

第1表 試験項目と目的

試験項目	目的
低圧(高度)	低圧条件下で使用される機器が、その環境下で損傷するか、機能が低下するかを調べる
高温	機器が貯蔵の間、または作動中に遭遇する可能性のある高温条件下で、変形や、機能の低下を生ずるかを調べる
低温	機器が貯蔵の間、または作動中に遭遇する可能性のある低温条件下で、弾性劣化や機能の低下を生ずるかを調べる
温度衝撃	機器が作動中および空輸中遭遇する可能性のある急激な高温および低温の温度変化のもとで損傷するかを調べる
温度高度	機器が低圧(高度)と高低温の同時に変化する場合において、正常に作動するかを調べる
日射	屋外で使用される機器に対し、日射による加熱で表面の劣化、機能の低下を生ずるかを調べる
降雨	降雨にさらされる機器の保護カバーが降雨中に機器を保護するかを調べる
湿度	あらゆる機器に適用し、腐食、劣化および機能の低下を生ずるかを調べる
かび	かびによる機器の表面に化学変化が生じるか、または内部で機能低下の影響を生ずるかを調べる
塩水噴霧	塩を含む大気中で使用する機器に塩霧による腐食、化学変化等で、機器の機能が低下するかを調べる
砂塵	砂塵を含む大気中にさらされるような機器に対し、表面の傷による腐食および内部に浸入し、機器の機能を停止するかを調べる
漏れ(浸漬)	機器が流体中に浸漬したとき、機器の内部に浸水するかを調べる
温度-湿度-高度	飛行中、機器が遭遇するであろう極端な環境条件、低温-低圧力(高度)、高温-湿度のサイクル下で機器が腐食、劣化、性能の低下、破損等が生じるかを調べる

第2表 温度-高度試験条件

分類	段階	1 a	1 b	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	温度(°C)	25	-62	0	0		標準状態	85	55			52					
	高度(m)	12,000	地上	地上	3,000	省略		地上	地上	省略	省略	3,000	省略	省略	省略	省略	省略
2	時間	1h	2h	—	—		標準状態	16h	4h			4h					
	温度(°C)	25	-62	-40	-40	-10		85	55	71		52	68				
3	高度(m)	12,000	地上	地上	3,000	地上	標準状態	地上	地上	地上	省略	3,000	3,000	省略	省略	省略	省略
	時間	1h	2h	—	—	—		16h	4h	20min		4h	20min				
4	温度(°C)		-62	-40	-40	-10	標準状態	85	55	71		49	65				
	高度(m)	省略	地上	地上	4,500	地上		地上	地上	地上	省略	4,500	4,500	省略	省略	省略	省略
5	時間		2h	—	—	—	標準状態	16h	4h	20min		4h	20min				
	温度(°C)		-62	-54	-54	-10	標準状態	85	55	71		48	64	40	57		
6	高度(m)	省略	地上	地上	9,000	地上		地上	地上	地上	省略	6,000	6,000	9,000	9,000	省略	省略
	時間		2h	—	—	—	標準状態	16h	4h	30min		4h	30min	4h	30min		
7	温度(°C)		-62	-54	-54	-10	標準状態	85	55	71		30	47	20	35		
	高度(m)	省略	地上	地上	15,000	地上		地上	地上	地上	省略	12,000	12,000	15,000	15,000	省略	省略
8	時間		2h	—	—	—	標準状態	16h	4h	30min		4h	30min	4h	30min		
	温度(°C)		-62	-54	-54	-10	標準状態	95	71	95		36	60	10	35		
9	高度(m)	省略	地上	地上	21,000	地上		地上	地上	地上	省略	15,000	15,000	21,000	21,000	省略	省略
	時間		2h	—	—	—	標準状態	16h	4h	30min		4h	30min	4h	30min		
10	温度(°C)		-62	-54	-54	-10	標準状態	125	95	125	150	60	90	-10	20	45	
	高度(m)	省略	地上	地上	24,000	地上		地上	地上	地上	地上	15,000	15,000	30,000	30,000	30,000	30,000
11	時間		2h	—	—	—	標準状態	16h	4h	30min	10min	4h	30min	4h	30min	10min	
	温度(°C)		-62	-54	-54	-15	標準状態	150	125	150	260	90	115	25	50	155	
	高度(m)	省略	地上	地上	24,000	地上		地上	地上	地上	地上	15,000	15,000	30,000	30,000	30,000	30,000
	時間		2h	—	—	—		16h	4h	30min	10min	4h	30min	4h	30min	10min	

第3表 輻射スペクトル

光 線	エ ネ ル ギ ー
赤外線 7,800 Å 以上	53.8~77.5 mW/cm ²
紫外線 3,800 Å 以下	4.3~7.5 mW/cm ²
可視光線	上記にバランスする値

第1図 太陽輻射サイクル

下に移す。この行程を3回行なう。この試験は高温槽と低温槽の二つの槽を使い供試品を出し入れする。

影響としては膨張または収縮による寸法の変化で材料等に亀裂や破壊を生ずる。

この試験で供試品の出し入れするとき素手で作業をしないこと。火傷または凍傷のおそれがある。

3.5 温度-高度試験 試験条件は第2表に示すように分類され、供試品の使用目的により選択する。供試品は各段階ごとに作動させる。

供試品の各主要ユニットの内部温度、ユニット中の主要部分の接触温度、表面温度、性能に限界を与えらると思われる部分の温度等の測定を行なうよう指示されている。

影響としては前述した低圧、高温、低温試験の三者を合わせた影響が起き、また希薄空気により供試品の放熱度が低下しその影響も受ける。

3.6 太陽輻射(日射)試験 この試験には方法Ⅰとして、加速静止の状態と方法Ⅱとして、輻射温度サイクルがあり、輻射スペクトルは第3表に示すものとする。

方法Ⅰの条件

輻射エネルギー 111.9±4.3 mW/cm²

温度 49°C±2 deg

試験時間 48時間

方法Ⅱは第1図に示す輻射エネルギー、温度範囲で試験時間24時間を1サイクルとして3回行なう。

当所で年間の日射量を測定した結果、入梅時を除い

て、赤外線成分は 53 mW/cm²、可視光線成分は 57 mW/cm²、紫外線成分は 7.7 mW/cm²、総計では、方法Ⅰの 111.9 mW/cm² を越している。温度は夏期の晴天日コンクリート上に置かれた航空機の各部温度を測定した結果外周温度が 37°C のとき胴体上面で 56°C、主翼の裏面で 46°C、内部は 39°C を記録していることから、夏期においてはエプロン上に待機中の航空機は相当に高い温度になり、内部とう載機器等も影響を受ける。

この試験の影響としては、加熱による退色、塗装のひび割れ、天然ゴムや樹脂材の劣化等が生ずる。

一般に試験は方法Ⅰによるのが多いし使用されるランプは水銀蒸気ランプ、水銀蒸気ランプと赤外線フィルタ付の白熱スポットランプの組合せ、カーボンアークランプ、水銀キセノンアークランプ等が用いられている。

3.7 降雨試験 試験方法はⅠとⅡがあり普通Ⅰによる試験が多いので、その試験方法について述べる。

条件としては、

水滴の直径 0.5~4.5 mm

水 温 11~35°C

で第2図に示す雨量と風速で供試品の4面に30分間計2時間暴露する。

試験の実施として要求条件を満足するならば専用の試験装置をもつことなくバラックセットで十分である。

当所で実施している試験方法は、スプレッドヘッドと送風機を用い第3図に示すようなセットで行なっている。

スプレッドヘッドは水滴の大きさを決める中ごまと噴出口からなっている。水滴の大きさは雨滴の径に相当する体積を求め(球として計算)ピペットで計った水をエオシンを塗った濾紙上に落とししみをつくり、その後スプレッドヘッドから噴水させ瞬間的に濾紙を降水面にさらし、しみをつくりピペットで求めたしみと比較し決定する。降雨量は供試品を設置する場所にメスシリンダを置きスプレッドヘッドからの散水の量を計りながら接続された給水弁を調整し設定する。風は水量を計った

第2図 降雨試験

第3図 降雨試験

第4図 湿度試験

場所が条件の風速になるよう送風機の吹出口の弁の調整によって決定する。

影響としては供試品の内部への浸水により電気回路の短絡およびさび等が生じる。

3.8 湿度試験 試験方法はIからVまでであるが普通実施されている試験は方法Iによるものが多い。

その試験は第4図に示す温度と相対湿度で24時間を1サイクルとし連続10サイクル(240時間)行なう。

いままでの試験項目中供試品にいちばん影響があるのはこの湿度試験で電気および電子機器では絶縁抵抗の低下、腐食等による短絡、断線、塗装部では塗装のふくれ、ひび割れ、剝離、さび、可動部品の潤滑不良、材料の膨張、強度劣化、破損等が生ずる。とくに塗装はその工程に手抜きがあればかならず悪い影響が現われる。

3.9 かび試験 この試験に使用されるかび菌は第4表に示すものである。

供試品と対象試験片に、殺菌した噴霧器で第4表の

第4表 かび菌

か び 菌	ATCC No.
<i>Aspergillus niger</i>	9,642
<i>Aspergillus flavus</i>	9,643
<i>Aspergillus versicolor</i>	11,730
<i>Penicillium funiculosum</i>	11,797
<i>Chaetomium globosum</i>	6,205

菌の混合菌孢子懸濁液を吹きつけ完全に湿らせ接種し温度30°C、相対湿度95%以上の試験槽に移し7日後に対象試験片を観察し、菌の成長を調べる。もし菌の成長が認められない場合はその試験は無効とし、再試験しなければならない。菌の成長がある場合は継続して28日間放置する。試験前および試験中雑菌の汚染がないよう注意し28日放置後供試品を取り出しかびの発生の有無について調べる。

わが国で広く見られるかび菌としては、*Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium citrinum* 等である。

この試験の影響としては浸食、電気部品等の絶縁不良および回路の短絡等が生ずる。

3.10 塩水噴霧試験 塩水濃度 $5 \pm 1\%$ 、温度35°Cで供試品に塩霧を48時間吹き付ける。その後38°C以下の流水で除塩し自然乾燥を48時間行ない供試品を作動させる。試験中塩霧吹き出しノズル付近の相対湿度は85%以上を保ち、使用塩は含有沃化ナトリウム0.1%以下、他の不純物0.5%以下の塩化ナトリウムで溶解液は蒸留水または鉍質性を取り除いた水とし、供試品の金属面の油、グリース等は拭取り試験する。

影響としては金属部の腐食、塩の堆積による可動部の不良等が生ずる。

3.11 砂塵試験 試験に使用する砂は角ばった形状の細砂(SiO_2 が97~99%)とし第5表に示す分布のものとする。

第5表 砂塵寸法分布

(ア)	砂塵の100%が100メッシュのフルイを通過すること
(イ)	砂塵の $98 \pm 2\%$ が140メッシュのフルイを通過すること
(ウ)	砂塵の $90 \pm 2\%$ が200メッシュのフルイを通過すること
(エ)	砂塵の $75 \pm 2\%$ が325メッシュのフルイを通過すること

第6表 砂塵試験

段階	砂塵濃度 (g/m^3)	温 度 (°C)	相対湿度 (%)	風 速 (m/s)	時 間 (h)
1	10.6 ± 7.1	23	22以下	8.9 ± 1.3	6
2	砂なし	63	10以下	1.5 ± 1	16
3	10.6 ± 7.1	63	10以下	8.9 ± 1.3	6

第5図 温度-湿度-高度試験

試験は第6表に示す温度、相対湿度、風速および時間で行ない供試品は特殊なものを除いて非作動とする。

この試験の影響として供試品の接合部またはすき間より内部に浸入し軸受や継手などの可動部を詰まらせたり、リレーの接点等の作動不良、電気回路の短絡、表面に傷をつけ腐食に発展させる。

3.12 漏れ(浸漬)試験 試験方法はIからIVで普通はIによる試験が多い。

方法I 水温 $18^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{deg}$, 供試品温度 $45^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{deg}$ とし、供試品の最上端が水面下 $800 \pm 125\text{ mm}$ になるよう水中に沈め120分間放置後水中より取り出し表面を拭き乾かしてから供試品の内部を調べ、水漏れが少くあっても供試品は不合格である。

影響としては直接現われないが、内部の水漏れにより金属材料のさび、電気接続点のさびによる接続不良、抵抗の増大を生ずる。

3.13 温度-湿度-高度試験 第5図に示す温度、湿度、高度範囲で①～⑨までを1サイクルとしこれを3回行なった後②～④を行なってから標準大気にもどし供試品を作動させる。

他に宇宙シミュレーションの試験があるが当所では実施してないし、宇宙環境の分野にはいるので省略する。

4. 試験条件の公差と温度の安定

環境試験で試験条件の公差と温度の安定をどの程度にすればよいかとときおり問題になるので関連のあるものについて述べる。

4.1 公差

a. 制御検知器のところの空気温度は $\pm 1.4^{\circ}\text{C}$, 装

置または試験器の検知器の応答時間は20秒以下、供試品の置かれる断面部分の温度分布はすべての方向0.3m 当り 0.3°deg を越えないこと。全体として 2.2°deg を越さないこと(供試品は非作動)。

b. 圧力 マノメータで測定する場合は $\pm 5\%$ または $\pm 1.5\text{ mmHg}$, イオンゲージで測定する場合 $\pm 10\%$ または 10^{-5} Torr 。

c. 制御検知器端の相対湿度は $\pm 5\%$

4.2 温度の安定

a. 作動時 別に定めがない場合は供試品で熱の遅れが最も大きいと考えられる部分の温度が1時間当り 2°deg 以上変化しなくなったとき。大きな供試品は除く。

b. 非作動時 別に定めがない場合は供試品で熱の遅れが最も大きいと考えられる部分の温度が規定の温度の 2°deg 以内に達したとき。大きな供試品および規定の温度の 1°deg 以内を必要とする特殊なもの、たとえば電池の電解液のようなものは除く。

5. 試験装置等の条件

代表的な試験装置の条件について述べる。

5.1 試験槽 内容積は供試品の大きさが試験条件の制御および維持に影響をあたえない大きさとし、熱源の放射熱が直接供試品にあたることなく空気の循環は一樣な流れで湿度検知器等を可能であれば槽の中心、輻射の影響がある場合は保護装置等を設ける。

5.2 日射 試験槽の容積は供試品の外寸法の少なくとも10倍以上で放射源は供試品の外面より750mm以上離れ、水平照射面は125%以上で温度制御装置および送風源を備えたもの。

5.3 降雨 前述したように専用の試験装置は必要としない。スプレッドヘッドと送風機を使い水粒、水量および風速を調整することにより試験ができる。

5.4 塩水噴霧 試験槽および付属品はすべて塩に侵されない材料であり、塩霧が直接供試品に吹き付けられたり水滴があたらないようまた噴霧器は微細な湿った濃い霧を発生するような構造のものでなくてはならない。

5.5 砂塵 砂塵を含む空気の砂塵濃度、速度、温度および湿度を制御できるものとし、供試品を設定する場所は断面積で50%以上、容積で30%以上を供試品が占有しない大きさのものとし、砂塵は供試品に衝突する前は層流になるようなものでなければならない。

6. む す び

気象的環境の試験方法は以上のようなものである

が、日ごろこのような分野にあまりなじみのない方々に若干なりともこんな試験もあるのかと認識していただければ幸いです。

参考文献

1) 信頼性研究会：電子機器の信頼性設計，日刊工業新聞社 (1967)。

- 2) 信頼性管理便覧編集委員会編：信頼性管理便覧，日刊工業新聞社 (1964)。
- 3) MIL-STD-810C Environmental Test Methods, 10, March (1975)。
- 4) GEOFFREY, W. A. D. and NORMAN, B. G.: Environmental Testing Techniques for Electronics and Materials, Pergamon Press, England (1962)。
- 5) (株)田葉井製作所：田葉井製作所レポート (1973)。

航空機用機器の機械的環境の試験方法について*

中 野 平**

1. ま え が き

環境の試験方法は気象的環境の試験と機械的環境の試験に大別されるが、ここでのいう機械的環境とよばれるものは、機器もしくは周辺の他の装置が作動することによって生ずる環境で別に誘導環境ともいわれ加速度、振動、音響振動、衝撃および耐爆等が含まれる。機械環境の機器に対するおもな影響として損傷、疲労、破損を生じそれにともない機器の誤作動や作動停止等を引き起こす。

ここで述べる試験方法も MIL-STD-810 C Environmental Test Methods, をもとにして紹介する。

2. 試験項目

機械環境の試験項目と目的は第1表に示すようなものがある。

上記項目以外に航空機の機関砲発射時の振動試験も含まれるが特殊な試験であるので省略し、試験項目順にその方法について述べる。

3. 試験方法

第1表中加速度、振動および衝撃試験のいずれも機器 (以下供試品という) は直接試験装置または試験機には取り付けず供試品取付具が必要となりその具を試験機に取り付けるようになるので具の設計製作および材料の選択が悪いと供試品に悪影響をおよぼすので具の設計製作等は細心の注意をしなければならない。また供試品の具への取付はできる限り実機に装着される状態で取り付けねばならない。

3.1 加速度試験 方法 I として、構造試験と方法

* 昭和52年11月7日原稿受理 Equipment Install in Airplanes for Machinery Environments Test Methods

** 防衛庁技術研究本部 Taira NAKANO

II として、作動試験がありとくに規定がなければ供試品は両方の試験を行なう。供試品の加速度方向は機体に装着された状態の方向とし機体の方向は第1図に示すものとする。

供試品は第2表および第3表に示す g レベルで各方向におのおの1分間加速度を加える。

なお構造試験の供試品は非作動で、作動試験は作動させる。試験機は遠心加速度試験機、ロケットスレッド等のいずれを使用してもよいが遠心加速度試験機で試験を行なう場合回転軸中心より供試品の幾何学的中心が規定の g レベルになるようにし供試品のいかなる部分でも g レベルの 90~110% とし、もし回転軸中心より最も離れた供試品端の部分が g レベルの 110% 以上になる場合は回転腕の長い試験機で試験する。

3.2 振動試験 方法は I から XI までであるが航空機に関連するものは第4表に示すような分類と方法からなる。

従来は航空機用機器に対してはランダム振動はなかったが、ジェット機用機器に対しては適用されるようになった。試験は供試品の3軸の各方向に規定された振動数範囲内で正弦波による共振走査、共振点加振、サイクリング試験を行なう。共振走査は減じた試験レベルで振動数をゆっくり変化させ調べる。共振点加振は共振走査で得た最も大きい加速度の振動数、もし4個所以上の共振点があれば最もきびしい4個所を選び、規定の試験レベルで加振し試験中その共振点に変化を生じた場合は振動数を調整しピーク共振条件を維持する。サイクリングは規定の試験レベル、振動数範囲で規定時間行なう。なお振動数の変化は対数掃引とする。第5表は代表的なものとして分類 b. 1 の試験スケジュールを第2図に振動曲線を示す。

ランダム振動は空気力学的に誘起される振動およびジェットエンジン騒音により誘起される振動の影響を