付けてあり、試験機に付属する機器等はいずれも防爆性のものを用いている。第 14 図は耐爆試験機である。

6. む す び

機械的環境の試験方法について紹介してきたが、この試験のみで供試品の耐環境性について評価することはできない。気象的環境もとりあげて耐環境性の評価ができるし双方を組み合わせた複合環境もこれから多くとりあげられ実施し評価されると思う。

いままで紹介してきた試験方法について、現在実施されている方また経験された方には説明不足の点が多

いと思うが、この分野にあまり縁のない方々に少しでも参考になれば幸いです。

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) 並木 登，片桐康雄：新規格衝撃試験における 1 個歯状衝撃波について，防衛庁技術研究本部技報（1971）。
- 4) MIL-STD-810 C, Environmental Test Methods, 10, March (1975)。
- 5) Shock and Vibration Hand Book, Vol. 1-3, Harris and Crede, McGraw-Hill Book Co., USA (1961)。
- 6) (株)明石製作所：技術レポート（1975）。

ジャイロの環境試験の一実施例*

堀 内 禧 次**・佐 々 木 康 之**

1. ま え が き

当社では、超小型一自由度浮動型レート積分ジャイロ JG-6 型を開発した（第 1 図，第 2 図）。この開発にあたり，環境試験を実施したので，ここに，ジャイロの環境試験の一実施例として紹介する。

このジャイロ JG-6 型は，短時間の慣性誘導，高精度角速度検出器，および角度検出器等に用いる。主たる特徴は温度制御機構をもたぬことである。過去，この目的のジャイロはすべて，ダンピングオイルの粘度および比重を一定に保つために温度制御を必要とした。JG-6 型では，ジンバルの出力軸まわりのダンピング係数の温度による変化を補償する特殊なダンパ機構と，摩擦を低減させる機構を有する。

2. 供試体ジャイロ性能

JG-6 型ジャイロの回路構成を第 3 図に示す。スピノモータおよびシグナルジェネレータを作動させるための励磁条件は下記のとおりである。

スピノモータ励磁電源 800 Hz, 7 V, 2 相（位相差 90°），正弦波または矩形波

シグナルジェネレータ励磁電源 12.8 kHz, 5 V, 正弦波

JG-6 型ジャイロの性能を第 1 表に示す。

3. 環境試験の要求条件

供試体に印加すべき環境条件とこれに対する供試体の性能の要求は以下のとおりである。

3.1 低温試験 供試体を非作動の状態では -35°C の恒温槽に 48 時間入れ保持する。供試体を恒温槽から取り出し， -29°C に温度制御した治具に取り付け，供試体の性能を測定する。このとき性能は，マスアンバランス＝G 感ドリフトが $18^{\circ}/\text{h/g}$ 以下のほか，第 1 表を満足すること。

次に，供試体の作動温度を標準状態（室温）とし，供試体の性能を測定する。性能は第 1 表を満足すること。

3.2 高温試験 供試体を非作動の状態では 49°C の恒温槽に 6 時間入れ保持する。その後，恒温槽温度を 1 時間以内に 71°C とし，4 時間保持する。さらに，1 時間以内に恒温槽温度を 49°C にもどす。以上の温度サイクルを合計 3 回くり返す。温度サイクル終了後，供試体を恒温槽からとり出し， 88°C に温度制御した治具に取り付け，供試体の性能を測定する。このとき性能は，マスアンバランス＝G 感ドリフトが $18^{\circ}/\text{h/g}$ 以下のほか，第 1 表を満足すること。

次に，供試体の作動温度を標準状態（室温）とし，供試体の性能を測定する。性能は第 1 表を満足すること。

3.3 温度衝撃試験 供試体を非作動の状態では 71°C の恒温槽に 4 時間入れる。次に，別に用意した -31°C の恒温槽に供試体を 5 分以内で移動させ，4 時間保持

* 昭和 52 年 11 月 17 日原稿受理 An Example for Gyro Environmental Testing

** 日本航空電子工業(株) Yoshitsugu HORIUCHI and Yasuyuki SASAKI

第1図 超小型一自由度浮動型レート積分ジャイロ
JG-6 型の外観

第2図 JG-6 型ジャイロの内部構造

第3図 JG-6 型の回路構成

第1表 JG-6 型ジャイロの性能

項 目	規 格
スピンモータ特性	
同期時間	15 s 以下
惰走時間	45 s 以下
起動電流	600 mA 以下 (A, B 相それぞれ)
同期電流	450 mA 以下 (" ")
起動電力	5.0 W 以下 (A, B 両相)
同期電力	4.0 W 以下 (" ")
入力角自由度	0.5° 以上 正負それぞれ
ジャイロトランスファーフังก์ション	3.9 mV/mrad ±25%
ドリフトレート	
マスアンバランス(ベクトル)=G感ドリフト	12°/h/g 以下
フィックスドトルク =G不感ドリフト	±50°/h 以下
ランダムドリフト	4.0°/h 以下
G ² ドリフト	0.2°/h/g ² 以下
トルクジェネレータスケールファクタ	1.1°/s/mA ±5%
トルクジェネレータスケールファクタリニアリティ	0.1% 以下
スピン軸アライメント	±4 mrad 以下
寸 法	
取付フランジ部外径	32.89 mm +0.03 -0.05
全長	60.45 mm 以下
重 量	116 g 以下

第4図 ジャイロのクローズドループ
* 記号 TG はトルカ
SG はシグナルジェネレータ
H はスピンモータ
をあらわす

第5図 正弦波加振 A

する。さらに5分以内で供試体を 71°C の恒温槽に移し、4時間保持する。ここでこの恒温槽の温度を標準状態（室温）とし、供試体温度を安定させた後、供試体の性能を測定する。このとき性能は第1表を満足すること。

3.4 加速度試験 供試体をクローズドループで作動させ（第4図）、ジャイロの3軸（入力軸、出力軸、スピン軸）に沿って、1.5 g の加速度を6方向各1回1分間印加する。

加速度印加終了後、供試体の性能を測定する。このとき性能は第1表を満足すること。

3.5 高度試験 供試体を非作動の状態で高度槽内に入れ、-35°C に安定させる。次に、槽内圧力を 3.425 inHg (=5,000 ft 相当) に減圧し、温度と圧力を1時間保持する。この状態でスピンモータ特性を測

定する（第1表参照）。

供試体作動の状態で温度、圧力を標準状態（室温、1気圧）にもどし、供試体の性能を測定する。

以上性能は第1表を満足すること。

3.6 振動試験 この振動試験は供試体である JG-6 型ジャイロの使用状態に擬似させるため、これを搭載するパッケージと同一の構造を持つ治具に供試体を取り付けて実施する。以下、[A]、[B]、[C]の3通りの振動をジャイロの3軸に沿って印加する。

[A] 正弦波振動 A 供試体をクローズドループで作動させ、3軸それぞれ、第5図の振動を5~2,000 Hz 10分で掃引印加し、治具の共振点を探知する。次に、3軸それぞれ、明らかになった共振点で加振周波数を固定し、第5図に従った大きさの振動を、ひとつの共振点に対して30分間印加する（1軸あたり、4カ所を越える共振点が見いだされた場合、共振の激しいもの4カ所を選択する）。

さらに、各軸それぞれ、共振点での加振時間の合計時間を2時間から差し引いた時間分だけ、第5図の振動を5~2,000 Hz 10分間で掃引し印加する。

第6図 正弦波加振 B

第7図 ランダム加振

【B】正弦波振動B 供試体をクロズドループで作動させ、3軸それぞれ、第6図の振動を5~2,000 Hz 10分間で掃引し、30分間印加する。

【C】ランダム振動 供試体をクロズドループで作動させ、3軸それぞれ、第7図の振動を30分間印加する。

以上、【A】、【B】、【C】の振動印加後、供試体の性能を測定する。性能は第1表を満足すること。

3.7 衝撃試験 以下、【A】、【B】の2通りの衝撃をジャイロの3軸6方向に沿って供試体に印加する。

【A】非破壊衝撃 供試体をクロズドループで作動させ、15 g, 11 ms 半正弦波の衝撃パルスを、ジャイロの6方向各3回計18回印加する。衝撃印加終了後、供試体の性能を測定する。性能は第1表を満足すること。

【B】耐破壊衝撃 非作動の状態、供試体に、30 g, 11 ms 半正弦波の衝撃パルスを、ジャイロの6方向各2回計12回印加する。衝撃印加終了後、供試体の外観異常の有無を確認する。

3.8 湿度試験 供試体を非作動の状態湿度槽に入れる。この状態から2時間で湿度槽を温度65°C、相対湿度95%とし、6時間保持する。次に85%以上の相対湿度を維持し、槽内温度を16時間で30°Cに徐々に下げる。以上のサイクルを第8図に示すよう、合計10サイクルくり返す。10サイクル終了後、供試体を湿度槽からとり出し、外観異常の有無を確認したうえで、供試体の性能を確認する。性能は第1表を満足すること。

4. 試験装置の概要

今回の環境試験に使用した試験装置の概要を第2表に示す。

5. 試験の実施

供試体は3個用意し、この3個を第3表のように各環境試験項目に割り当てて、試験を実施した。なお、参考として、供試体Ⅱにおいて正弦波振動印加後、供

第8図 湿度試験

第2表 試験装置の概要

試験装置名称	仕様の概略
恒温槽	ATL SK-2101 型 温度範囲 -75°C~+177°C 温度精度 ±1°C
恒温槽	ATL SK-3102 型 温度範囲 -75°C~+177°C 温度精度 ±1°C
温度湿度槽	ATL HB-4104 型 温度範囲 -75°C~+177°C 温度精度 ±1°C 湿度範囲 20%~95% RH
恒温高度槽	テニー MODEL 36 STR-100350 温度範囲 -73°C~+177°C 温度精度 ±1°C 高度範囲 SL~150,000 ft 高度精度 ±0.001 mHg
加速度試験器	ジェニスコ 遠心式 加速度範囲 1~100 g ワウフラッタ 0.5% 回転数範囲 30~400 rpm
衝撃試験器	インパック 重量 500 lb 高さ 8 ft パルス形式 MIL-STD-202 C Method 213
振動試験器	日本測器 F150-B型 周波数範囲 5~2,000 Hz 最大印加加速度 56 g 最大加振力 150 kg

第3表 供試体の割当て

試験項目	供試体		
	I	II	III
通常の性能試験	①	①	①
環境試験	低温試験	②	
	高温試験	③	
	温度衝撃試験	④	
	加速度試験	⑤	
	高度試験		②
	振動試験	③	
	衝撃試験(非破壊)		③
	湿度試験		④
	衝撃試験(耐破壊)		④

注1) ○印は実施した試験項目を示す。

注2) ○印内の数字は実施した試験順序を示す。

試体Ⅲにおいて耐破壊衝撃印加後も性能を測定した。

6. 試験の結果

各試験項目における供試体の性能の測定結果を第9図、第10図、第11図に示す。この結果は、参考としてとった供試体Ⅱにおける正弦波振動印加後、供試体

第10図 供試体Ⅱの試験結果

第9図 供試体Ⅰの試験結果

第11図 供試体Ⅲの試験結果

第4表 共振点探知の結果

加振方向	共振周波数
入力軸	① 430 Hz
	② 1,900 Hz
スピン軸	① 620 Hz
	② 780 Hz
	③ 1,140 Hz
出力軸	① 540 Hz

Ⅲにおける耐破壊衝撃印加後の性能も含め、第1表をすべて満足した（同図中で、マスアンバランス=G感ドリフトは入力軸成分、スピン軸成分に分け、ベクトル表示を行なった）。

なお、振動試験の正弦波振動Aの共振点探知の結果は第4表に示す。

7. 結果の評価

結果としては、すべて、規格で定めた範囲を大きな余裕をもって満足したが、3個の供試体とも各性能に少しずつ変動がみられる。

7.1 温度の影響 スピンモータの同期時間、惰走時間に温度によるわずかな変動がみられるが、これは、ベアリング、ロータ、およびステータ間の部材の熱膨張による予圧の変動、温度による潤滑状態の変化等によるものと思われる。

ジャイロトランスファーファンクションの温度特性はJG-6型で心配された点であったが、温度による変動は、試験の結果ほとんど認められないため、良好なダンピング機能を発揮したといえる。

ドリフトレートは、マスアンバランス（G感ドリフト）が高温で若干変動した。ジンバルの浮心と支持

軸の不一致により、ダンピングオイルの比重変化による浮力の影響を受けたものと推定する。

7.2 振動の影響 JG-6 型ジャイロの共振周波数はロータ部分で約 400 Hz, ベアリング保持器で約 256 Hz のほか、ジンバル、ケース等の構造部で約 3,000 Hz である。振動試験で印加した周波数は 5~2,000 Hz であるから、今回の試験において、ジンバル、ケース等の共振はなかったといえよう。いずれにせよ、振動試験の結果、供試体の性能には大きな変動は現われていない。

7.3 その他の影響 その他の環境の項目については、供試体の性能の結果では若干変化が見られるが、これが、環境を印加したことによって生じたものか、

あるいは、供試体自体が時間の経過等により性能変化して生じたものか、分離がまだできていない。

8. む す び

供試体である JG-6 型ジャイロが温度制御機構をもたぬということで、今回は、環境試験のうちでも温度特性に最も注目を置いたが、十分、性能を満足することを確認した。ただし、性能の変動に原因の不明な個所があり、環境の印加の影響によるものか、供試体自体が環境と無関係に性能変化したものか、分離する必要がある。このためには、さらにデータの積み上げを必要とする。今後の課題としたい。

航空計器の信頼性試験について*

高 橋 貞 夫**

1. ま え が き

F-4EJ 機の開発にあたり、当社で開発した機器のなかから 3 機種を選んで認定試験の 1 項目として信頼性試験を実施した。それらの試験は国産航空機の開発にあたり初めて航空計器に要求されたものであるの、試験設備、試験方法を中心に信頼性試験の実施例として以下に紹介する。

2. 信頼性試験の要求条件

F-4EJ 機用機器として当社で開発した 20 種類のなかから信頼性試験を実施した次の 3 機種の要求条件を紹介する。

2.1 Indicator, Oil pressure, Dual P/N MS 17996-6 この計器の適用仕様書は MIL-I-23479 B であり、信頼性試験項目の中で MIL-STD-781 B Test plan I を呼び出しており、MTBF 1,000 時間以上を要求している。試験条件は第 1 図を参照して次のとおりである。

2.1.1 温度 -54°C から +71°C まで上昇させ、安定してから 2 時間保持し、-54°C に下げる。以上を 1 サイクルとしてサイクリングを行なう。

2.1.2 振動 試験サンプル作動中、1 時間につき 10 分間、加速度 $2.2g \pm 10\%$ 、振動数 50 Hz の振動

を加える。

2.1.3 試験サンプルの作動 -54°C から温度を上げ始め、71°C に 2 時間保持し終わるまで、サンプルのフルスケールの約 10%~80% 間を 1 時間当たり、 12 ± 1 サイクルの割合で作動させる。また、作動 1 時間ごとに 3 分間中断する。内部照明ランプの点灯時間も同様とする。

2.1.4 試験サンプルの機能試験 温度が 71°C に安定している時間中に、毎週 1 回、機能試験を行なう。

2.2 Transmitter, Oil pressure type TRU-80/A この計器は適用仕様書 MIL-T-25624 C であり、その仕様書の信頼性試験項目のなかで、MIL-R-26667 A を呼び出しており、MTBF 1,250 時間以上を要求している。試験条件は第 2 図を参照して、次のとおりである。

2.2.1 温度 -54°C から +165°C まで上昇させ安定してから 2 時間保持し、-54°C に下げる。以上を 6 時間で 1 サイクルとしてサイクリングを行なう。

2.2.2 振動 振動数 20~60 Hz の任意の非共振振動数で加速度 $2g$ の振動を高温中 (+165°C) において 1 時間につき 10 分間加える。

2.2.3 試験サンプルの作動 -54°C から温度を上げ始め、+165°C に 2 時間保持し終わるまでサンプルにフルスケールの 0%~80% の間を 1 時間に 35 回の割合で作動させる。

2.2.4 試験サンプルの機能試験 温度が +165°C に安定している時間中に、1 日 1 回機能試験を行な

* 昭和 52 年 12 月 21 日原稿受理 Reliability Test in the Development of Aircraft Instrument

** (株)北辰電機製作所 Sadao TAKAHASHI