超音速高等練習機の油圧操縦リグ試験*

On the Flight Controls and Hydraulic Systems

Rig Test of an Advanced Supersonic Trainer

柴 田 知 治**
Tomoharu SIBATA

1. はじめに

現代の高速機では、舵面に加わる空気力の増大等から操縦舵面の油圧作動が不可避であるばかりでなく、安定操縦性面からの要求も複雑高度となり、機械的電氣的に総合化された操縦装置が必要である。また舵面や降着装置の作動だけでなく、油圧の高出力、速応性を利用した油圧作動装置はますます増加し、いわゆる機構システムの複雑さが大いに増加して来た。このため各サブ・システムの静的動的機能、操縦士を含めた機体全体システムとの適合性、さらには故障時の安全性などを設計段階で適確に判断することは、従来から行なわれている機器単体の機能試験や、紙上の検討だけでは極めて困難な状況である。すなわち、他の機体で使用実績のある部品、あるいはシステムの一部を寄せ集めて新しいシステムを組み上げても、機器間の相互干渉などから生ずる作動不良はなかなか予測し難く、また初期故障による飛行安全への影響も実物を動かしてみないと把握できないものである。このため、機体開発と平行して実機をシミュレートしたリグ試験を行ない、問題点の把握並びに対策の実機への反映、最適機器の選定、さらに安全性耐久性の確認などを早期に実施し、組み立ておよび飛行試験を迅速かつ安全に行なうことが、日程的にも費用的にも効果があるとする考えが一般化して来た。油圧、操縦の各 MIL-SPEC (MIL-H-5440, MIL-F-9490) にリグ試験の実施が規

第1図 XT-2 油圧操縦リグ試験装置

* 昭和47年9月7日原稿受理

** 三菱重工業株式会社名古屋航空機製作所

定されており、PS-1, XC-1の開発時にもこの種の試験が行なわれたが、XT-2の油圧操縦リグ試験は次の点に特徴があると言える。

1) 操縦装置、降着装置、機関砲駆動装置などは、同一油圧源で作動し相互に関連すること、および同一の架台、供試体、計測装置を共用することにより、費用的にも有利であることから、油圧で作動するすべての系統を一つの架台に組み込み同時に試験を実施した。

2) 操縦装置の適性を確認するためパイロット・シミュレーションを十分に行なうとともに、各種故障状態、特殊状況を想定した試験を行ない、安全性の確認を行なった。

なお本リグ試験は基本設計開始とともに諸準備を始め、初飛行の約1年4か月前に試験を開始し、引き続き系統耐久試験を実施した。

2. 試験装置

試験装置は第2図に示すように、供試体、架台、負荷装置、計測装置、動力源などで構成されている。

1) 供試体 装備品は、概ね本機と同一仕様のものを使用した。試験を早く開始する必要から最終仕様未確定のままに先行して購入し、また費用軽減のため極力他の試験で使用する供試体と共用するよう心掛けた。リンク類も同様に、初期には機構上必要な幾何学的寸度のみを一致させた簡略なものを用いた結果、本機との相違が問題解決を幾分複雑にはしたが、大きな障害には至らなかった。なお最終的には本機と同一ロットで生産された部品に交換し確認試験を実施している。

2) 架台 架台は主として鋼製溶接構造であるが、舵面サーボ取り付け部、主脚取り付け部、前脚室など機器取り付け部の強度剛性が機能に大きく影響する部分は本機と同一の構造とし、その他の部品は架台に直接取り付け剛性的シミュレートを考慮していない。

3) 負荷装置 舵面負荷は第2図に示すようなトーション・バーと位置制御油圧サーボを組み合わせた空気力相当バネ負荷および舵面相当の慣性負荷とからなり、飛行状態に応じて連続的に任意の負荷を供試体に

XT-2油圧操縦リグ試験装置概略

第2図 XT-2 油圧操縦リグ試験概要

与えることができる。主脚、前脚、スピード・ブレーキ等は負荷特性が比較的一定しているため、油圧シリンダとリンクを組み合わせた単純な非線形パネを用いた。またパイロット・シミュレーション時操縦桿に g -フィールを与えるためボブ・ウェイト相当の g -フィール・サーボを設けた。

4) シミュレータ装置 機体の運動はアナログ・コンピュータで計算し主要なパラメータを記録するほか、操縦席の模擬計器板に表示した。操縦席にはこのほか簡易座席、スイッチ・パネルおよびスロットル・レバーを設けた。

5) 計測装置 油圧、油温、荷重、変位等(合計約200点)の計測のため各目的に応じた検出器を取り付け、データ取得装置(アンプ等)を介してフォトコーダまたはXYレコーダに記録した。

6) その他 各種入力波形を得る関数発生器、入力加振器、全システムの作動を集中して行なう中央制御盤、負荷パターンを制御する負荷制御盤があり、動力源としては直交流電源、外部油圧源を用いた。

3. 試験内容

組み立て完了後各系統が正常に作動するまでの組み立て調整に幾分手間取ったが、正規の試験ではないこの段階でのトラブル・シューティングが当然のことながら後の本機でのリギング法設定に大いに役立っている。試験項目の概要は第1表に示すとおりである。1)~3)項の系統作動試験内容は特に目新しいものではないが、各種不具合発生時に本機と異なり、詳細な計測ならびに十分な解析を行なう時間的余裕があるため、

第1表 XT-2 油圧操縦リグ試験項目

試験項目	内 容
1) 油圧系統作動	全般機能、圧力変動、油温変化、スピード・ブレーキ作動特性、機関駆動特性
2) 脚系統作動	全般機能、作動時間、非常脚下げ、操向角、ブレーキ特性など
3) 操縦系統作動	静特性: ギヤリング、フィール特性、分解能、動特性: 過渡応答、周波数応答、サーボ安定性、トリム作動: 分解能、作動時間、ギヤリング、ダンパ作動: 静特性、動特性など
4) 油圧系統適合性	圧力変動、油温変化、ポンプ能力など
5) 操縦系統適合性(パイロット・シミュレーション)	離着陸、巡航、低空高速、高空高速時のフィール特性および機構の動特性など
6) 模擬故障	油圧一系統 off、ダンパ故障、Q フィール off、ガタ・マサツ増大、バルブ・スタック、リンク破断、トリム故障、HM バランス、低温非常脚下げ、マニュアル・ブレーキ能力、リザーバ低油面など
7) 耐久性	脚上げ下げ: 6,000 回以上 操縦系統: マニュアル入力 200 万回 電気入力 500 万回

的確な対策が実施できることはリグ試験の利点である。パイロット・シミュレーションは基本設計段階で行なった簡易フライト・シミュレータ結果との相異を確認することに主眼を置いた。すなわち簡易シミュレータでパラメトリックな検討により求めた最適ギヤリング、フィール特性等がガタ、マサツ、時間遅れ等を含む現実の系統でどの程度阻害されるかを確認するとともに、各種の人為的故障に対するパイロット一機体系の現象把握および安全な飛行の限界を求めることとし評価はクーパ・レイティングによって行なった。耐

久試験では、本機に合わせた潤滑、定期点検、およびオーバーホールを実施して、基本的耐久性の確認のほか、主要機器の MTBF を求めることにより、整備性、信頼性のデータを得ることを目的としている。

4. ま と め

以上のリグ試験を通じて次の成果があったと言える。

1) 本機最終組み立て段階での不具合はほとんどなく、初飛行が予定どおり実施出来た一つの要因と言ってよい。またその後の飛行試験においても、系統の基本的不具合は皆無である。

2) シミュレーションにより、パイロットの慣熟、安全の確保に効果があり、また故障解析にも有用であった。

3) 初期故障の発見、整備用特殊工具の改良、適正点検時間の決定等信頼性、整備性上の具体的データを得た。

なお本リグ試験に要する費用はかなりの額であり、今後の同種試験実施に際しては、リグ試験に期待できる成果（日程、改修費用、安全性等）を明確にし、費用効果の面からも最適試験規模、試験項目、試験時期、実機シミュレート程度等をさらに検討する必要がある。

質 議 討 論

砂川恵（東大宇宙研）：機体剛性と架台のそれが著しく異なる個所のシミュレーションにおける対策はどうか。

著者：舵面サーボは機体取り付け部の剛性が作動の安定性に大きく影響するため前述の如く取り付け部を実機と同一構造にする必要がある。操縦系統の一般部分では、架台の剛性は無限大と考えて最適入出力特性を決定した後、本機においてアーム・レシヨ可変機構

を設けて架台との剛性差（数％）に起因する特性変化を逃げた。なお主翼の外部荷重による変形の影響（主翼の変形によるフラップ・アクチュエータ荷重の増大など）をシミュレートすることは困難であるため、フラップ系統は 01 号機で主翼変形を与えて作動試験を行なった。

砂川恵：機体剛性、操縦系統の剛性およびレスポンス特性等に機体の運動等を含めて体系的かつ総合的に地上ですべて検討するリグ試験について、将来の展望もあわせてどのように考えているか。

著者：機体系統の剛性だけでなく環境条件も含めて、すべて地上で検討し尽すことは費用効果的に特策とは思われない。パイロット・シミュレーションは、固定座席型シミュレータでは自から限界があり、汎用のムービング・コクピットで十分なパラメトリック・スタディを行ない、リグ試験は、計算モデルと実物との差の確認装置と考えるのが妥当と思う。また系統の動特性も現象の解析的把握が、さらに進めば一部はコンピュータ・シミュレーションに移行するであろう。

竹内和之（航技研）：このリグ試験を行なうことによって発見できた耐久性以外の問題点は何か。

著者：細部には種々雑多な問題が発見され、その都度対策の手を打ったが、リグ試験の効果の例としては、

1) 多数の計測点と精密な記録装置により、従来比較的経験で処理していた油圧システムの現象を、かなり解析的に把握できるようになった。

2) 現実的な問題としては、舵面サーボ、トリム機構の応答時間の決定が挙げられる。

3) また操作ミス等で生じた偶発的不具合をきっかけとして、潜在的な事故発生要因をいろいろとつづすことができた。