

# 航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-928

STOL実験機の操縦系統機能試験の計測

多田 章 ・ 小川敏雄 ・ 大和裕幸  
内田忠夫 ・ 岡田典秋

1987年4月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 操縦系統機能試験 .....	3
3. 計測システム .....	5
3.1 概 要 .....	5
3.2 信号発生機器 .....	6
3.3 ポテンシオメータ .....	6
3.4 直流増幅器 .....	7
3.5 モニタ解析機器 .....	7
3.6 デジタルデータ収録システム .....	8
4. 計測作業の内容 .....	10
4.1 耐久試験 .....	10
4.2 基本特性試験 .....	11
4.3 記述関数特性試験 .....	11
4.4 SCAS制御則試験 .....	12
4.5 故障模擬試験 .....	12
4.6 機力・SCAS特性試験 .....	12
4.7 オーソリティリミタ試験 .....	12
4.8 機体運動特性試験 .....	12
4.9 閉ループ特性試験 .....	12
4.10 パイロットドシミュレーション試験 .....	13
4.11 トラブル対策 .....	13
4.12 記録編集 .....	14
5. 考 察 .....	15
6. おわりに .....	16
付録 A 計測信号一覧表 .....	18
付録 B 各直流増幅器仕様 .....	25
付録 C 各モニタ解析機器仕様 .....	26

# STOL実験機の操縦系統機能試験の計測\*

多田 章\*\* 小川 敏雄\*\* 大和 裕幸\*\*\*

内田 忠夫\*\* 岡田 典秋\*\*\*

## Measurements in the Functional Mock Up Test of the NAL QSTOL Aircraft Control System

Akira TADA, Toshio OGAWA,  
Hiroyuki YAMATO, Tadao UCHIDA  
and Noriaki OKADA

### ABSTRACT

In the functional mock up test of the NAL QSTOL Research Aircraft control system, measurements were planned and conducted with the intention of obtaining both real time results to support the development immediately, and reserved data suitable for academically rigorous and detailed analyses from various points of view.

The physical quantities of 208 system variables were converted to analogue voltage signals, and supplied from junction boxes to devices for recordings and analyses. The system characteristics of primary interest in each test were investigated using chart recorders, a two-channel X-Y recorder, an FFT analyser, and a monitoring unit of the on board computers.

A pre-processor unit of a mini-computer system converted 64 channels of the analogue data to disk image digital data with a sampling rate of 100 Hz for each channel. Up to two hours of test data were temporarily stored in the disk file, and then, as a part of near real time processings, were transferred to magnetic tapes for preservation.

A digital filtering and sampling technique, designated the Filtering Sample, was applied to the conversion of the pre-processor unit. The Filtering Sample showed a good anti-aliasing effect within a reasonable increment of the processing work load.

### 1. はじめに

操縦系統機能試験は航空機の開発にあたって飛行安全性を確認する必要から行われる。航空宇宙技術研究所がSTOL実験機を開発するにあたって、操縦系統機能試験を実施して、飛行安全性を確認するとともに、実験機としての性格から、操縦系統の特

性が詳しく調べられた。STOL(短距離離着陸)実験機の操縦系統機能試験については、研究的な見地からいくつかの報告すべき側面があるが、本報告では、計測について述べる。

主として集積回路技術の発達に促されて近年利用可能となった記録解析機器として、ファイバオプティクスCRTレコーダ、デジタルメモリスコープ、FFTアナライザ、デジタルデータレコーダなどが挙げられる。解析のためには、科学技術用の計算機システムで処理できる形式でデータを保存すると

\* 昭和60年9月4日受付

\*\* 新型航空機研究グループ

\*\*\* 飛行実験部

の考え方から、デジタルデータをリアルタイム収録する例が増えてきている。解析ソフトウェアの充実や演算速度の向上およびディスク記憶の大容量化などハードウェア能力の発達がその裏付けになっている。これらの装置や考え方は、ごく近年になって実現あるいは普及し始めたもので、大規模な実験および計測システムに対する適用は、いまだ確立された実績のあるものでない。

一方、被試験体であるSTOL実験機の操縦系統は、デジタル計算機を含むSCAS(安定操縦性増大システム)が組み込まれるなど、これまでに我国で開発された民間航空機の中では、システム構成でも機能面でも非常に複雑なシステムになっている。とくに、三重系をなしているセンサ信号を比較しての故障検出やLASP(Low Air Speed Processor)とDA-DC(Digital Air Data Computer)との2種類の出力データを速度により選択する機能などのように論理的処理に依存する点や、データのデジタル化に伴うサンプリングの影響がある点などは、従来の操縦システムの機能と質的に相違した点である。

このような背景から、本計測の課題は、近年急速に進歩し利用可能となった計測技術を、本操縦系統機能試験のように構成要素も多岐にわたり厳密性も要求される試験の計測にいかに関与するかという問題であった。とくにデジタルデータ収録については、チャンネル数およびデータ点数が大きいことから、従来の技術だけでは十分なエイリアシング対策がとれないという問題を解決する必要があった。

時系列データをサンプルする場合には、あらかじめフィルタを通すことにより、データに含まれる高周波雑音成分を遮断し、サンプリングに伴う低周波信号成分への重畳を削減する。アナログデータをデジタルデータ化して収録する際には、エイリアシング対策として、アナログフィルタを用いる必要がある。雑音成分と信号成分の周波数帯域が十分離れている場合には簡単なローパスフィルタを用いることができるが、通常は遮断特性が急峻な一方で低周波信号成分に与える歪が小さいフィルタを用いてエイリアシング対策としている。しかしながら、特性の良いアナログフィルタの価格は高く、計測チャンネル数の多い場合には十分なエイリアシング対策を施

すことに実用上困難がある。A/D変換されたデータにデジタルフィルタリングを施してからさらにサンプリングすることも考えられる。デジタルフィルタは特性が理論から明瞭に計算でき、チャンネル間のバラツキが無く、位相直線性を持つものが簡単に得られるなど、アナログフィルタに比べて有利な点も多い。しかしながら、収録データ点数を解析に必要な程度の規模にするためには、リアルタイムで処理を施す必要があり、デジタルサンプリング比が増すほど演算速度が要求される。本計測で必要とするチャンネル数とサンプリング頻度で検討すると、専用ハードウェアを用いても従来の技術では処理し切れないことが判った。

本計測では、準備の一環としてエイリアシング対策のデジタル処理方法でハードウェアにかかる処理演算の負担が小さいものを求める研究を行った結果、フィルタリングとサンプリングを組み合わせてカスケードに繰り返し施すフィルタリングサンプルと呼ぶ処理を考案した。この方法は、エイリアシングの影響が少なく信号の歪が小さいデジタルフィルタリングおよびサンプリング処理の演算負担を軽減し、マイクロプロセッサでもリアルタイム処理可能とするものである。デジタルデータ収録システムにはこの方法を適用して、まず解析上所望されるより十分高いサンプリング頻度でサンプリングとA/D変換を行い、得られたデジタルデータにさらにフィルタリングサンプル処理を施して、収録データとした。

本報告では以下に、STOL実験機の操縦系統機能試験で生じられた物理現象にたいして、どのようなセンサや計測装置類を用いて、どのような作業によって監視、測定および記録を行ったかを記述する。これによって、この種の試験の計測システムの一例を示すとともに、とりわけフィルタリングサンプルの実用可能性を示したい。なおフィルタリングサンプルの理論的裏付けについては文献5)を参照されたい。第2章には、STOL実験機の操縦系統機能試験について概要を述べ、計測の目的と範囲を明らかにする。第3章には計測システムについて、また第4章には計測作業について、それぞれ詳しく記述し、データの質を検討したり、同種の計測システムを計

画するための資料とする。第5章において検討を加え、なぜこうしたシステムを構成し作業を行ったかを示す。試験によって得られた資料は膨大なものであるので、本計測の実像を示すに有効なものを選んで付録とする。

## 2. 操縦系統機能試験

航空機の操縦システムを開発するにあたってはさまざまな試験が行われるが、その機能がいかにあるべきかを探るのは主として理論解析や飛行模擬装置を用いた実験によって行われ、製作された装置が実際に持つ機能は、まずシステムの構成要素単体あるいはサブシステムで試験され、機能モックアップによって試験され、実機地上試験が行われ、さらに飛行試験が行われる。本稿で言う操縦系統機能試験とはアイアンバード(iron bird)を用いた操縦システムの機能モックアップ試験<sup>1)</sup>(functional mock up test)を指しており、通常、実機形状に見合った架構にケーブルや構成機器を取り付け、油圧や舵面負荷を備えた設備を使用して試験される。

航技研 STOL 実験機の操縦系統機能試験は 1982 年(昭和 57 年)3 月からこれまで 4 次に渡って行われ、現在第 5 次試験が完了したところである。試験の内容は、試験装置の特性把握と部分的なサブシステムの試験からはじめ、実機開発の進捗状況に合わせて、開発品の完成により構成要素が揃ったり、実機地上機能試験など関連試験のデータを利用できたりして、次第に総合的な試験となった。第 1 次および第 2 次試験は新明和工業甲南工場において実施され、実機搭載品によって構成された操縦システムの基本的な作動が適切なものであることを、設計および開発の観点から確認した。第 3 次以降の試験は航空宇宙技術研究所調布飛行場分室において実施され、第 3 次試験ではパイロットや大気擾乱の影響まで含めた操縦と飛行運動の閉ループシステムについて、総合的な評価を行った。第 4 次および第 5 次試験は実機操縦システムの部分的な改修の効果を確認する試験である。本稿ではとくに断らない限り第 3 次試験の計測について述べる。

第 3 次操縦系統機能試験は飛行安全評価のために、1983 年 7 月から 12 月まで航空宇宙技術研究所調布

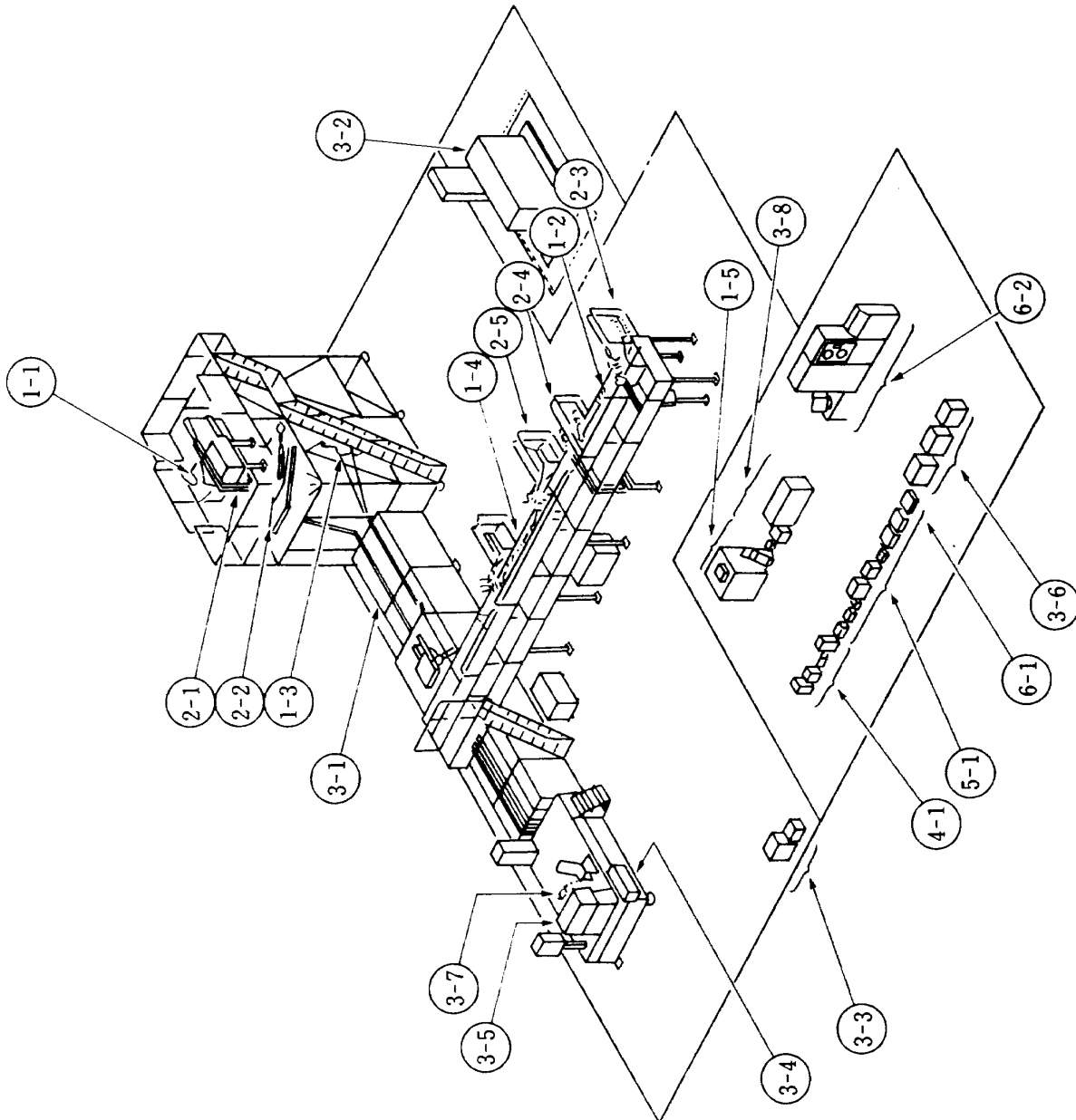
飛行場分室で実施され、実験機の操縦システムが当初の計画どおりの機能を持つことが認められた。現在、収録されたデジタルデータをさらに詳しく厳密に解析する作業が進められている。試験の詳細な内容については記述を他の文献に譲り、本稿では概略を述べる。

一般に航空機の操縦システムは、操縦席でパイロットが計器を見ながら操作するコラム・ホイール・ペダルやレバー類の操縦装置の動きに応じて、ケーブルやリンク機構を通じてアクチュエータを駆動し、昇降舵・補助翼・方向舵などの舵面に所望の角度を持たせたりエンジン推力を調整する機能を持っている。航技研 STOL 実験機はさらに SCAS と呼ばれる安定操縦性増大システムを装備して、運動状態に対し適切な操舵量を搭載計算機が決定し信号アクチュエータを通じてパワーアクチュエータを駆動する機能も持っている。

試験装置は、これらのシステム構成要素を実機の取り付け状態に見合うように配置できる架構と、舵面を動かすことによってアクチュエータが受ける反力を模擬する装置と、駆動および計測装置から成っている。架構およびシステムは、主として費用対効果の観点から、右舷に相当する部分を省き、ケーブルについても直線部分は短縮されている。ケーブルの摩擦などは、製作中の実機について測定した値にあわせて、ケーブルの張力を加減する方法で調整された。アクチュエータが受ける反力は、舵面の慣性力や空気力を慣性負荷とバネによって模擬された。大気擾乱は、ドライデンモデルに合わせてデジタル計算機で作成したものを、A/D 変換して FM データレコーダに記録し、実験に際して再生し、アナログ計算機によって高度の影響を加えたうえで、飛行状態量の対地速度に加えて対気速度とした。

試験は、1. 耐久試験、2. 基本操舵特性(静特性、過渡特性、および周波数特性)試験、3. 記述関数測定試験、4. SCAS 制御則試験、5. 故障模擬試験、6. 機力・SCAS 特性試験、7. オーソリティリミタ試験、8. 機体運動特性試験、9. 閉ループ特性試験、10. パイロテッドシミュレーション試験、のサブ試験項目に分けて実施された。

名	称
1	供試体
1-1	縦操縦装置
1-2	横操縦装置
1-3	方向操縦装置
1-4	USBフラップ操縦装置
1-5	SCAS電子装置
2	負荷装置
2-1	負荷装置 - 昇降舵
2-2	負荷装置 - 方向舵
2-3	負荷装置 - 補助翼
2-4	負荷装置 - スポイラ
2-5	負荷装置 - USBフラップ
3	試験装置
3-1	架構
3-2	油圧装置
3-3	電源装置
3-4	揺動装置
3-5	操縦席及び計器板
3-6	アナログ・コンピュータ
3-7	センターパーペスタル
3-8	SCAS テスタ
4	計測器材
4-1	ジャンクション・ボックス
5	はん用計測器材
5-1	
6	
6-1	デジタルデータ前処理装置
6-2	ミニコンピュータシステム



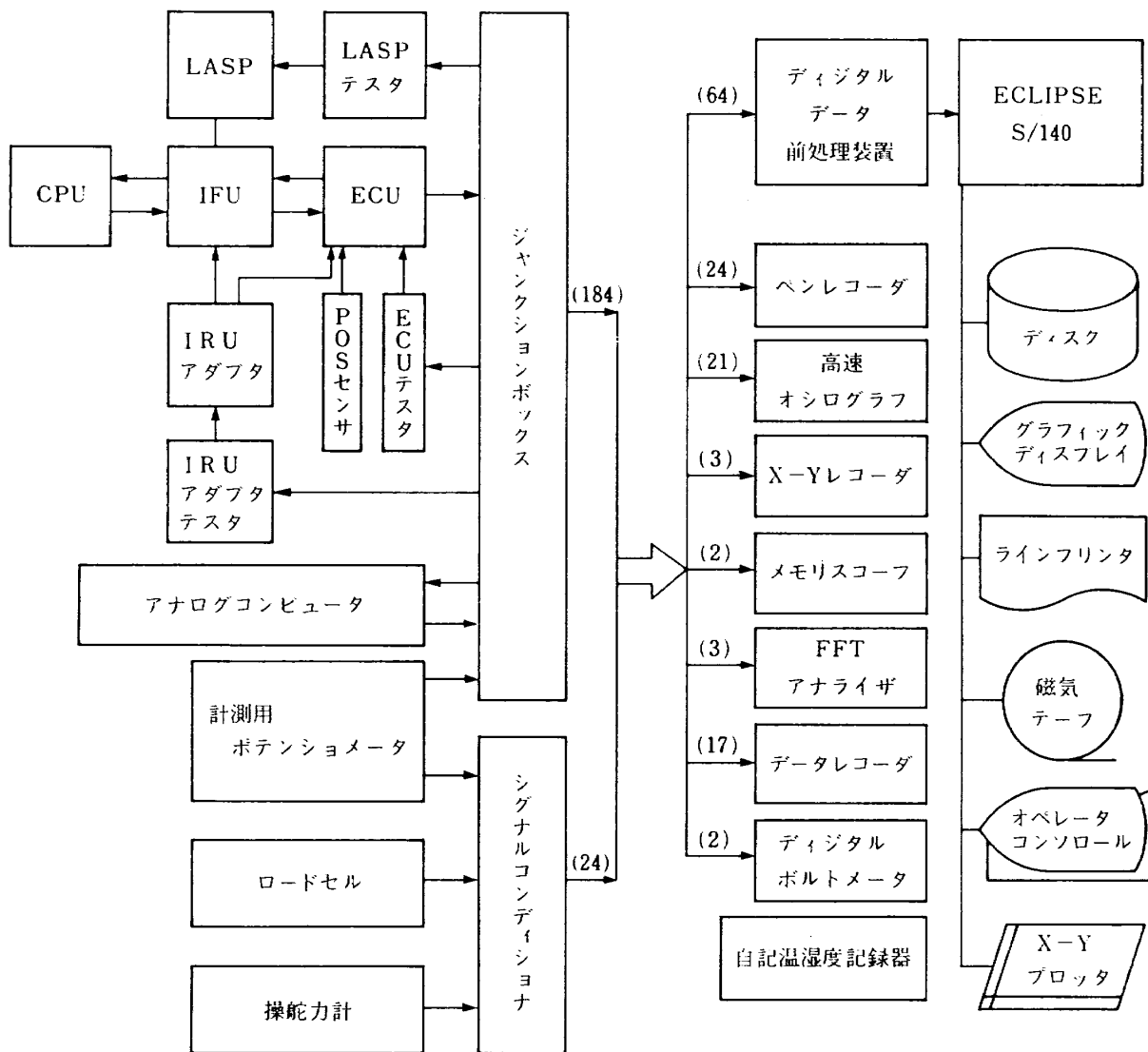
第1図 操縦系統機能試験設備

### 3. 計測システム

#### 3.1 概要

第2図に計測信号の流れ<sup>3)</sup>をブロック図で示した。LASP(Low Air Speed Processor), SCASコンピュータのCPU(Central Processing Unit)およびIFU(Inter Face Unit), ECU(Electronic Control Unit), IRU(Inertial Reference Unit)アダプタ, およびPOS(POSITION)センサは実機に搭載されるシステム構成要素であり, LASP テスタ, ECU テスタ, およびIRUアダプタテスタは模擬信号を発生できるテスタ類である。図には示していないが, SCASコンピュータの内容は, MTU(Monitor and Test Unit)を用いてモニタしたソフトウェアを変更したりできる。

試験信号は手動操作, 揺動装置, 関数発生器, あるいはFM磁気テープ記録のデータレコーダによる再生によって作成され, 三舵やレバー類の操縦装置とSCAS機器のテスタ類とから操縦系統に加えられるものと, 飛行運動を模擬するアナログ計算機に加えられるものがあった。センサとしてSCAS装備品であるポジションセンサの他にポテンシオメータ・ロードセル・操舵力計などを用いて, 操縦系統内の各種の変位・圧力・力などを電圧に変換した。これらの電気信号とSCAS機器でアナログ量化されている信号およびアナログ計算機の信号は, 184種類がジャンクションボックスに集められ, また24種類がシグナルコンデイションを通して, それぞれ増幅調整されてBNC端子パネルより記録・解析機器に供給された。センサの配線はすべてシールド線を用



第2図 計測システムのブロック図

い、増幅器側でシールド接地を行った。また接地は第一種アース（接地抵抗  $10\Omega$  以下）に一本の平編組銅線（断面積  $14\text{mm}^2$ ）を接続し、各機器の接地端子から接続して行った。電力容量の小さい機器については平編組銅線に AWG16（径  $1.35\text{mm}$ ）および AWG10（径  $2.77\text{mm}$ ）の絶縁電線を各一本接続延長してまとめた。

再生可能な記録としてはデジタルデータ処理システムを主とし FM データレコーダを補助としてデータ収録を行った。大容量ディスクと共に本データ処理システムの特徴となる前処理装置は、第 3 次試験を目標に開発されたフィルタリングサンプル装置を組み込むことにより、 $25.6\text{kHz}$  の頻度で A/D 変換したデータに移動平均フィルタリング処理と再サンプルとを繰り返して施し、結局  $100\text{Hz}$  の 16 ビットデータとし、64 チャンネル分をシリアルに並べてミニコンピュータのインタフェイスに送りこむ働きをしている。実験の経過はペンレコーダでモニタされ、しかるべき結果が得られているかパラメータ値をおさえるのは高速オシログラフ・X-Yレコーダ・メモリスコープ・FFTアナライザ・デジタルポルトメータが試験内容に応じて使用された。

次節以降において各装置について述べる。

## 3.2 信号発生機器

### 揺動装置

操縦系統機能試験装置の操縦装置を調和振動で機械的に駆動するために揺動装置を用いた。揺動装置は揺動加振機組み立ておよび制御盤により構成され、DC サーボモータとオシレーティングドライブにより、操縦装置のコラム、ホイール、あるいはペダルに接続した出力軸が揺動運動を行う。振幅は電動シリンダの伸縮により調整し、周波数は直流電圧を入力して調整する仕組みになっている。温度などの環境条件により入力電圧に対する揺動周波数に変動が見られたが、試験時には FFT アナライザで確認しながら周波数を設定した。

### データレコーダ

擬似大気擾乱をアナログ計算機に入力するために、ティアック製 SR-51 ポータブルデータレコーダを使用した。ドライデンの大気擾乱モデルに従ってデ

ィジタル計算機で作成した 40 分ぶんの擬似大気擾乱波を、D/A 変換して FM 磁気テープに収録しておき、試験時に繰り返し再生してアナログ計算機から入力した。データレコーダの速度安定機能を利用することにより、テープの速度偏差は  $\pm 0.2\%$  以下となった。テープ速度  $9.52\text{cm/s}$ 、中帯域設定で用いたので、周波数特性の歪は DC ~  $1.25\text{kHz}$  で  $+0.5\text{dB}$ 、 $-1.0\text{dB}$  以下であり、また SN 比は  $48\text{dB(rms)}$  であって、ともに試験目的に適した。

### 関数発生器

電気信号で入力する調和振動波と三角波を発生させるために、エヌエフ回路設計ブロック製の関数発生器 FG-122 を使用した。周波数の設定は試験時に FFT アナライザで確認しながら行った。調和振動波歪率は  $10\text{kHz}$  以下で  $0.5\%$  以下であり、三角波の非直線性は  $\pm 1\%$  以内である。また混入雑音については、使用電圧レンジが  $10\text{V}_{p-p}$  であったのに対し、ハム雑音が  $2\text{mV rms}$  以下で、混入パルスが  $40\text{mV}_{p-p}$  以下となっている。

## 3.3 ポテンシオメータ

システム内各所の変位および角度を検出するために、24 個のポテンシオメータを使用した。このほか被試験体自体に、変位および角度のセンサとして LVDT および RVDT などが組み込まれているが、これら被試験体のセンサについての記述は他の文献に譲り、ここでは本試験の計測専用の目的で使用したポテンシオメータについて述べる。

エルロン、ラダ、およびスポイラの信号アクチュエータ作動筒変位の検出にはミドリ精密製のリニアポテンシオ LP-100F を、またエレベータの信号アクチュエータ作動筒はストローク長が短いので変位の検出に同じく LP-50F を、それぞれ用いた。両者の差は有効ストローク長が、LP-100F では  $100\text{mm}$ 、また LP-50F では  $50\text{mm}$  である点と、それに対応して直線度が前者で  $\pm 1\%$ 、また後者で  $\pm 0.5\%$  である点にある。操縦レバー類や各舵などの変位角を検出するにはミドリ精密製のコンダクトプラスチックポテンシオ CPP-45 を用いた。有効電気角は  $350^\circ$ 、また直線度は  $\pm 0.5\%$  である。

これらの直線度は増幅器や記録機器に較べてやや



非直線性が強く、精密な解析にあたっては注意を要するが、一方分解度は無限小で、出力スプーズネスが0.1%以下であるので、校正曲線を用いた補正が可能である。ゼロ調節は中間タップを利用して、舵面のリギング位置など物理量のゼロと増幅器出力の0vを合せた。抵抗温度係数は $\pm 400$  PPM/ $^{\circ}$ Cであり、試験時の温度変動が $3^{\circ}$ C以内であったので、温度による誤差はフルスケールの0.12%以下と計算される。なお全抵抗値はいずれも $5\text{k}\Omega$ である。摩擦力あるいは回転トルクは各測定点での試験体自体の負荷に比べて小さく無視できる。

荷重変換器を用いて、操舵力、舵面模擬負荷、および油圧を測定した。コラムおよびホイール操舵力の計測は、操舵輪を操舵力計と呼ばれる模擬操舵輪に付け変えて行った。操舵力計は共和電業による製作品で、回転の中心部に荷重変換器が組み込まれている。変換器自体の誤差は、フルスケールに対して非直線性1%、ヒステリシス1%、また零点および出力の温度影響が $0.05\%$ / $^{\circ}$ Cである。操舵力計全体の校正試験の結果、ホイール、コラムとも左右のグリップ出力にアンバランスがあるが、使用方法により握り部分での最大荷重 $50\text{kg}$ に対する誤差は1.5%以内を確保できることが明らかになった。これらの値は本操縦系統機能試験における見地からは許容範囲にあるが、データの詳細な解析にあたっては注意を要するものである。

ペダルの操舵力は操舵力検出用ロッドと呼ばれる製作品をペダルに装着して計測した。ペダル踏みの操舵力に応じてロッドに生じる歪が、ロッドに接着された2枚のベークライトゲージにより、電気信号に変換される。ゲージは抵抗 $250\Omega$ の2軸型で、防湿処理が施されている。校正試験の結果、 $100\text{kg}$ の格圧縮荷重に対し、非直線誤差は0.3%以下であることが明らかになった。

油圧の計測には共和電業製LU-20KAのロードセルを、また舵面模擬負荷の校正には同じくLU-1TEのロードセルを用いた。入出力抵抗はいずれのロードセル $350\Omega$ で、容量およびフルスケールに対する非直線性はLU-20KAが $196\text{N}$ 、0.3%、またLU-1TEが $9.8\text{kN}$ 、0.2%である。

### 3.4 直流増幅器

直流増幅器をアナログ計算機の入出力および各センサの出力部分に接続して使用した。使用した直流増幅器の仕様は付録に記載する。

#### アナログ計算機の入出力調整

直流増幅器によって、スロットルレバー変位および舵面変位を検出するポテンシオメータの励磁用に直流電源を出力するとともに、ポテンシオメータの直流電圧出力に増幅およびオフセット調整を施した。増幅器の出力はアナログ計算機に入力され、これに対して飛行運動の模擬計算が行われる。姿勢角や速度などの状態量のアナログ計算機出力にも、直流増幅器によって増幅およびオフセット調整を施し、SCAS用テストおよび操縦席計器盤に出力した。

#### センサの出力調整

シグナルコンディショナによって、ストレインゲイジおよびポテンシオメータの励磁用に直流電源を出力し、直流電圧出力に増幅およびオフセット調整を施したうえで、ジャンクションボックスに入力した。また、記述関数試験の小振幅加振の場合のように信号振幅が小さい場合に、直流増幅器を臨時にジャンクションボックスとペンレコーダ、FFTアナライザ、およびデジタルデータ処理システムとの間に挿入して、信号を増幅調整した。

臨時に使用した直流増幅器、日電-三栄測器製6L02および6L06は、増幅利得が大きく $10\sim 1000$ および $1\sim 2000$ であるが、直線性がやや悪くフルスケールの $\pm 0.5\%$ である。他の増幅器の直線性はフルスケールの $\pm 0.2\%$ である。なお、直流増幅器にはローパスフィルタがついているが、信号に位相遅れなどの歪を与えるのを避けてワイドバンドで使用した。

### 3.5 モニタ解析機器

#### ペンレコーダ

主要信号の挙動の概要を把握するために、渡辺測器製ペンレコーダWTR211を2台と渡辺測器製リニアコーダMarkVIIを用いた。いずれも8チャンネルのレコーダで合計24チャンネルまでの信号をモニタした。マーカへの入力を3台共通にすることにより、相互の時刻の対応を確認できるようにして使用した。

WTR211 は長さ 130mm のペン書きであるため、パルスやステップなどのように急峻な立ち上がりのある信号の波形を目視する際には、ペンの回転による曲率を配慮する必要がある。ガルバノメータ自体の直線性はフルスケールの 2.5 % 以内であり、数値の測定精度も注意を要する。Mark VII では非直線性および不感帯を合わせて、確度はフルスケールの  $\pm 0.5$  % 以内である。

これらのレコーダは、数値測定を行うには注意すべき点が多いが、記録紙にメモ書きができることもあって、実験の概要を把握するには有効であった。零点および利得の変動は試験パラメタの設定ごとに再調整を行ったことから、また周波数特性は本試験では入力周波数が 0 ~ 3Hz の範囲に限られていたことから、それぞれ問題無いと判断した。

#### 高速オシログラフ

論理判断のタイミングなど高速の現象をモニタするためのオシログラフとして、日電-三栄製のルミグラフ 5F13 に 1803 形のプラグインアンプ 21 個を接続して使用した。直線性はフルスケールの  $\pm 0.5$  % 以内、また周波数特性は DC ~ 10KHz が  $-3$  dB 以内であり、いずれも特に問題は無いと判断した。紙送り速度が必然的に速くなるため、記録の検査に当っては、紙送りモータの回転速度が定常値に達しているか確認する必要がある。

#### X-Yレコーダ

被試験システムの静的な入出力特性を表わすために、X-Yレコーダ渡辺測器製 WX4302 を使用してヒステリシスループを描いた。Y 方向は 2 チャンネルになっているので、入力信号を X 方向として、出力信号としては、システムの下流 2 点の状態量を Y1 および Y2 として、同時に 2 個ずつのループを描いた。非直線性と不感帯を合せた確度はフルスケールの  $\pm 0.25$  % 以下である。動特性の影響を避ける目的で試験信号の変化は十分に遅いものであったためペン速度および加速度には問題が無かった。一方零点変動も、ループの始点と終点が目視の範囲でどの図でも完全に一致したことから、無視できる大きさであった。

#### メモリスコープ

高速で繰り返す波形を目視で観察するのに日立電

子製のデジタルメモリスコープ VC-801L を使用した。

#### FFTアナライザ

周波数特性をリアルタイムで測定するため、小野測器製の CF-500 デュアルチャンネル FFT アナライザを使用した。この機械は名前が示すように FFT 素子を用いて解析を行うもので、周波数特性の測定としては、スペクトルアナライザや科学技術用計算機を用いた解析に比べて、結果の信頼性において劣るものである。FFT 解析では、計算を施すデータ長が繰り返し波長の整数倍に一致するという条件が前提になっている。ところが、FFT アナライザのデータ長はサンプリング間隔の選択でしか調節できないため、実用上はこの条件を満たさないままに解析を施すことになる。したがって平均操作によっても真値への収れんが保証されないことになる。しかしながら、データの構造によっては解析結果は容易に真値へ収れんする。本計測では、試験入力として単一調和振動波を加え、データの周波数分布はラインスペクトルに近い状態で解析を行い、解析中に表示される解析結果図が理論的に予想されるものに収れんしていくことを確認しながら使用した。また、アンチエイリアシングフィルタの影響で、信号のとくに位相に歪が出るが、伝達関数計算では入力側フィルタの影響と出力側フィルタの影響とが相殺されると考えられる。本計測では、単一調和振動波の周波数調整のためにパワースペクトラム計算を、また記述関数測定のために伝達関数計算を行った。

#### デジタルボルトメータ

デジタルボルトメータはタケダ理研製デジタルマルチメータ TR6841 を使用した。測定確度は  $\pm 19999$  デジットの表示に対して読み取り値の  $\pm 0.055$  %  $\pm 2$  デジットである。

### 3.6 デジタルデータ収録システム

#### システムの概要

操縦系統機能試験のデジタルデータを収録する主たる目的は、デジタル計算機を利用した科学技術解析を施すことができ、また実験計画の時点で予定していなかった観点からの解析が必要な場合に利用できもするデータを保存するためである。一方こ

のデータを利用した厳密なスペクトル解析や頻度分布解析などは、計測ではなく解析の範囲にはいると考えた。またD/A変換による出力やグラフィックディスプレイおよびX-Yプロッタによるヒステリシスループの作図など、試験の合間に施す簡単なオフライン処理については、優先度の関係で、ハードウェアの装備あるいは汎用ソフトウェアが第4次試験以降徐々に進められている。

デジタルデータの保存媒体は磁気テープとし、リアルタイムでの収録媒体はディスク装置とした。解析上必要な精度を保つため、A/D変換の分解能は12ビットとし、サンプリングに伴うエイリアシング対策とサンプリング間隔に充分な配慮をすることとした。リアルタイム収録が順調になされていることやディスク装置内に記録されたデータの内容を確認する機能を持たせることとした。磁気テープに移されたデータの確認は、大型計算機システムを利用することとし、ソフトウェアだけを作成した。ちなみに大型計算機システムのデータ処理装置演算部は、計測室の向いの部屋に配置されるよう試験用の建屋を建設する時点から計画されていた。

リアルタイムのデータ収録は通常の汎用ミニコンピュータシステムの処理機能では時間的に不充分であるので、マイクロコンピュータを用いて専用ハードウェアの前処理装置を開発し、ミニコンピュータの演算負担を軽減した。前処理装置は64チャンネルのアナログ電圧信号入力を受けて、アンチエイリアシング処理およびA/D変換を施したのち、全チャンネルのデータをシリアル化して、ディスクに収納するままのデータ形式で出力する。アンチエイリアシング処理としては、デジタルフィルタ技術により、フィルタリングサンプルと名づけた手法<sup>4,5)</sup>を開発して適用した。

#### システムの構成

±10ボルトのアナログ信号が、ジャンクションボックスから64本の平衡型ケーブルによって前処理装置に入力される。前処理としてはまず、カットオフ2KHzのアナログ1次ローパスフィルタを通した後、サンプリング頻度25.6KHzで全チャンネル同時のサンプルおよびホールドを行う。次に分解能12ビットのA/D変換を行い、収録データの計算機

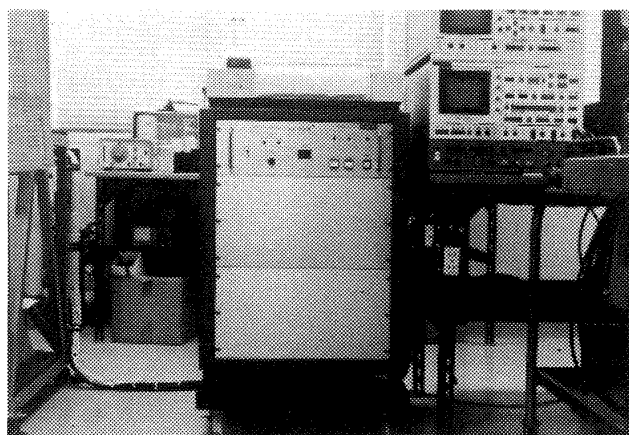


写真1 デジタルデータ前処理装置

での扱いの便宜を考えてただちに16ビット表現に変換した後、フィルタリングサンプルによってアンチエイリアシングおよび再サンプルのデジタル処理を繰り返し施してサンプリング頻度を100Hzとしてから、全チャンネルのデータをシリアル化している。したがって収録データの桁数は16ビットである。

この処理によってデータの受ける歪と、エイリアシングによる雑音混入との程度は、いずれも直流成分で0であり、周波数が高くなるほど劣化する。本試験で被試験体を加振した周波数の上限である2Hzの信号に対する値は、アナログフィルタによる利得減少が $4.34 \times 10^{-6}$  dB、位相遅れが $0.057^\circ$ である。フィルタリングサンプル演算によるものは参考文献5)の計算式に本装置の次数2と段数8を代入して得られ、利得減少が $-0.011$  dBである。位相遅れは完全な直線性を持つので、時間原点の遅れとなっており、データ解析上は周波数にかかわらず無いと考えてよい。2Hzの信号に混入する雑音は $2 + 100q$  および  $-2 + 100q$  ( $q=1, 2, \dots$ ) Hzの成分であるが、最も近い成分である98Hzの成分でも利得が67.619dB減少している。

サンプリング間隔については、パイロットが追従できる周波数は2Hzまでとされており、アクチュエータの固有振動数は10～20Hzの範囲(最大負荷時)にあり、搭載コンピュータのデータ更新間隔が40msであることを考慮して、収録データのサンプリング間隔を10msとした。SCASコンピュータの内部演算の状態把握は不可能で、単体試験に依存することになる。

ミニコンピュータはMRDOSをオペレーティング

システムとする ECLIPSE S/140 システムで、147MB の容量を持つ固定メディアディスク装置に物理的に連続な 6 個合計 92.16MB のワークファイルを設定してある。オンラインのデータ収録プログラムは、主記憶のダブルバッファを介してデータをワークファイルに書き込むとともに、指定されたチャンネル信号波形および書き込み中のワークファイル位置をグラフィックディスプレイに表示する。全ワークファイルの容量は 16 ビット、64 チャンネル、100Hz のデータで連続 2 時間分に相当し、これを越えて収録を続けると、先頭部分からオーバーライトする。耐久試験のように無事である限りデータの不要な場合を除いて、2 時間以内にオフライン処理で磁気テープに転送し保存しなければならない。磁気テープは記録密度 1600bpi で記入し、データの転送速度と充鎮密度の効率を上げるため、ECLIPSE システムで最大の 4096 ワード(8192 バイト)、を 1 ブロックとした。

データファイルとしては前述の連続ワークファイル WRK1～WRK6 のほかに、グラフィック表示のため 6 チャンネルを選択しスケーリングしたデータを書き込む RS、およびこれらへの書き込み時のパラメータを書き込む WKLBL と RSLBL がある。MRDOS では端末機器もファイル概念で考えられているので、これらのファイル間のデータ転送を、ここでは模式的に〈複製転送元ファイル→複製転送先ファイル〉と表わすことにする。プログラム作成者でないオペレータもデータを扱えるように作成されたアプリケーションプログラムの機能には〈FS→WRK〉、〈WRK→LP〉、〈WRK→GD〉、〈WKLBL→LP〉、〈WRK→MT〉、〈MT→WRK〉、〈WRK→RS〉、〈RS→GD〉、および〈RSLBL→LP〉がある。ここに FS は前処理装置、LP はプリンタ、GD はグラフィックディスプレイ、また MT は磁気テープを表わす。プログラムはおおむね機能ごとに分けられており、パラメータは標準値からメインコンソールでの会話型で設定変更する方式で、無意味でない限りデータのプロテクト機能が組み込まれている。

この他ハードウェアとしては、X-Y プロッタがあり、中央処理装置に 256KB の主記憶と浮動小数

点演算機構が、またグラフィックディスプレイにハードコピー装置が付いている。

#### 4. 計測作業の内容

本章では計測の作業の内容について、それぞれのサブ試験の内容に応じた実験時の作業と、計測上のトラブル対策作業と、記録の編集作業とに分けて述べる。

##### 4.1 耐久試験

STOL 実験機は川崎 C-1 機を母機として設計されたので、耐久性は一般に C-1 機の運用実績で明らかとなっているが、新たに設計されたエルロンおよび USB フラップの油圧アクチュエータ系統については、繰り返し作動させて耐久性を確認する必要があった。エルロン系統への入力、ホイールに接続した揺動装置から、あるいは信号アクチュエータに接続した関数発生器から、それぞれ正弦波が加えられた。USB フラップ系統は、USB フラップレバーを入力により、あるいは DDC サーボモータに関数発生器から正弦波を加えて、それぞれ加振した。毎日の試験開始前および試験終了後に系統全般を目視点検し、試験中はデジタルデータをディスクに収録しながら、メモリスコープやペンレコーダで系統内各所の応答を監視した。もし異常が発見された場合にはデータ収録を停止すれば、停止時刻から遡って 2 時間分のデータを検討できるが、実験の試験経過は全く順調であったので、デジタルデータはサンプルのみが保存された。

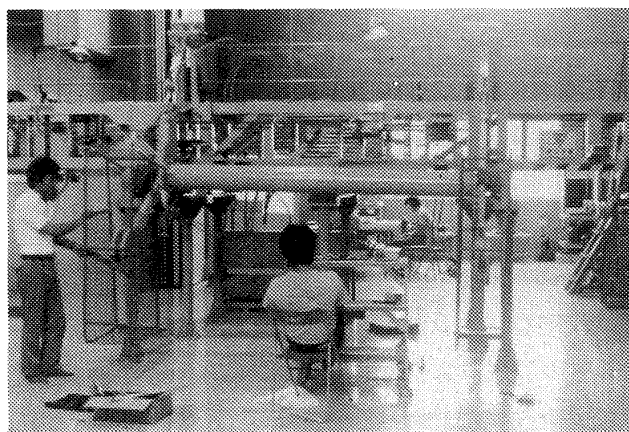


写真 2 USB フラップ耐久試験

## 4.2 基本特性試験

シミュレーション試験や実機地上機能試験など開発過程で行われる他の試験とデータを比較する必要のほか、実験機としての役割から飛行試験による研究の基礎データを備えるために、STOL実験機の場合はとくに綿密に操縦系統の基本特性を把握する必要があった。そのため十分に時間をとって、いわゆる静特性、過渡応答、および周波数特性が調べられた。なおSCASの各モードをエンゲイジする場合は、機力・SCAS試験として分けて行われたので、本項に述べる基本特性は機力系統を指すものとする。

静特性の測定は、30～40分の周期で操縦装置などをフルストローク往復させ、入出力をX-Yレコーダに作図し、デジタルデータを収録する方法で行った。X-YレコーダはX方向1チャンネル、Y方向2チャンネルに限られているので、たとえばコラムの動きに対する昇降舵の動きのような代表的な図を描かせ、ガタなどが系統のどの要素に存在するかはデジタルデータからその要素の入出力をX-Yプロッタに描いて検討した。

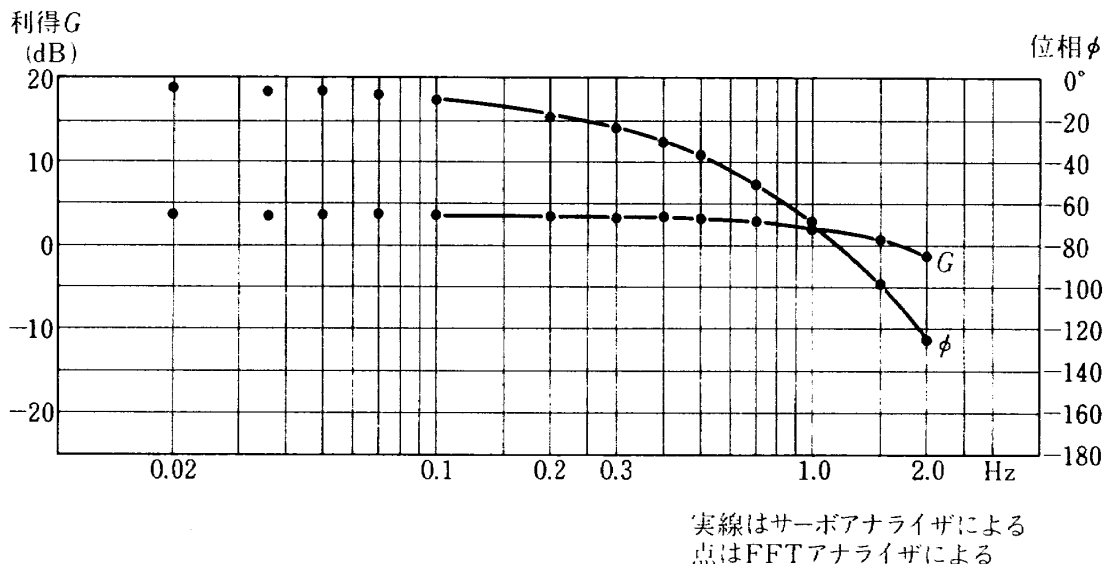
過渡応答はステップ、パルス、およびランプ状の波形の入力を手動操作で操縦装置から加えた。これに対するシステム各部の応答は、ペンレコーダで波形をモニタしながらデジタルデータを収録して測定した。特記すべき値がある場合は測定タイミングに合わせてデジタルボルトメータから読み取って

記録した。事前に予想した応答とペンレコーダ記録とに相違が見られる場合には、デジタルデータをプリンタに出力して詳しく原因を調べた。

周波数応答は揺動装置で調和振動波を作り、操縦装置から加振可能な最大振幅に較べて20および4%の振幅の入力を加えた。ただしコラム入力については、エレベータ舵角のストロークはアップ側は25°であるのにダウン側は15°と差があるが、引き一杯(25°アップ相当)を片側とするものを100%振幅として数えた。測定としてはペンレコーダでモニタし、デジタルデータ収録し、FFTアナライザで周波数特性のリアルタイム解析を行った。

## 4.3 記述関数測定試験

操縦系統には種々の非線形特性を持つ要素が含まれているから、周波数応答は入力の振幅により異なった値をとる。詳しくその特性を記述するために、入力可能なフルストロークの両側一杯に振れるものを100%振幅として数えて1, 2, および4%の振幅の入力を加えて、実験的に記述関数を求めた。関数発生器で調和振動波を作りFM磁気テープに記録したものをデータレコーダで再生して、ECUより入力した。測定は基本特性試験の周波数応答の測定と同様に、ペンレコーダでモニタし、デジタルデータ収録し、FFTアナライザで周波数特性のリアルタイム解析を行った。



第3図 伝達関数測定例

#### 4.4 SCAS制御則試験

SCAS制御則の各モードの回路を構成している論理判断、積分、リミタ、ウォッシュアウト、閾値などの機能を確認するために、操縦装置やECUからそれぞれの機能を見分けられるような特殊な波形の組合せを入力して応答を調べた。常時ペンレコーダで記録しデジタルデータを収録したが、現象のモニタにはX-Yレコーダが、また特記すべき値の測定にはデジタルポルトメータが、それぞれ用いられ有効であった。

#### 4.5 故障模擬試験

SCASシステムは3重系になっており、互いの出力の値を比較して故障が起きていないか判断する故障検出機能をもっている。この機能が仕様通りの性能を持つか、またシステム全体の振る舞いが適切なものであるかを調べるために、システム内の結合を一部オープンにしたり、3重になった信号が互いに矛盾した値を取るような入力を加え、応答を検討した。操縦装置やECUから入力を加えるほか、システム内の信号線のターミナルからラグをはずしたり、スイッチの開閉を行う操作があった。ECU入力は、定電圧直流信号電源の出力を増幅器を通してECU入力端子に接続しておき、増幅器の利得調整つまみを操作して、徐変させるものが多かった。この試験は操作要員が計測担当も含めて5～10名必要で、4台の携帯型無線通話装置とそれに接続した固定ラウドスピーカを使用する必要があった。常時ペンレコーダで記録しデジタルデータを収録したが、モニタは主としてMTUによっておこなった。すなわちSCASコンピュータ内部の記憶領域から故障状態のデータをMTUによって読み出し、筆記作表するのが、煩雑で時間を取るが重要な作業であった。

#### 4.6 機力・SCAS特性試験

SCASの各モードをエンゲージした場合の操縦系統の基本特性を把握する試験は、機力・SCAS試験として4.2節に述べた基本特性試験とは分けて行われた。SCASの各モードをエンゲージとした条件下であったことと計測点が増加したほかは、基本特性試験とおおむね同様に行われた。すなわち操縦装置

を揺動装置あるいは手動操作により駆動し、いわゆる静特性、過渡応答、および周波数特性が調べられた。

操舵に対する応答はSCASの働きにより機力だけの場合より複雑になったため、すべての試行について時間を短縮したリハーサルを2～4回繰り返し入力レベルや計測レンジが適切であることを確認してから、本試行を行った。計測についても基本特性試験と同様に、ペンレコーダで記録しながらデジタルデータを収録し、静特性はX-Yレコーダに作図し、過渡応答で特記すべき値がある場合はデジタルポルトメータを使用し、周波数特性はFFTアナライザで解析を行った。

#### 4.7 オーソリティリミタ試験

アクチュエータの底付きを防止するために組み込まれるリミタの作動を確認する試験が行われ、X-Yレコーダによって記録された。

#### 4.8 機体運動特性試験

アナログコンピュータがSTOL実験機の運動特性を正しく模擬していることを確認するために機体運動特性試験を行った。舵面の動きあるいは空気力の変動分としてパルス、ステップおよび調和振動波の入力をアナログコンピュータに加え、演算の結果IRUアダプタおよびLASPのテストに供給するために出力された信号の値を検討した。ペンレコーダとFFTアナライザを用いて記録した。

#### 4.9 閉ループ特性試験

アナログコンピュータを繋ぎ込むことによって、STOL実験機の運動制御の閉ループシステムの模擬が完成する。操縦装置への入力により操縦系統の各部がどのように応答し、飛行状態量がどのように変化するかを調べるために閉ループ特性試験が行われた。舵面への入力は、ステップ波についてはストップをセットしておいて手動で行い、調和振動波については揺動装置によって行った。空気力の変動入力は、定電圧発生装置および関数発生装置のほかデータレコーダを用いて行った。大気擾乱についてはDrydenモデルに従ったスペクトルを持つランダム

波をデジタル計算機で作成し、デジタル磁気テープでミニコンピュータのディスクに移し、A/D変換してFMデータレコーダに記録してあるものを再生して、アナログコンピュータで高度の効果を加えて、使用した。また操縦入力が無い状態でもSCASモードをエンゲージしてあると、SCASのフィードバックによって、閉ループが構成されているので、フィードバックゲインを変えて閉ループの安定性が調べられた。

計測はペンレコーダで記録しながらデジタルデータを収録し、過渡応答で特記すべき値がある場合はデジタルポルトメータを使用し、調和振動波およびランダム波に対する応答特性はFFTアナライザで解析を行った。

#### 4.10 パイロットドシミュレーション試験

パイロットが飛行状態量の指示計器を見ながら操縦装置を操作して、試験信号を加えて反力の具合や運動の応答を調べたり、着陸復行などのタスクを行うことにより、操縦系統の機能を評価した。タスクはコメントシートの記載してある手順にほぼ合わせてパイロットが順次決定し、計測および検討要員に知らせてから遂行された。

計測はペンレコーダで記録しながらデジタルデータを収録したが、評価はパイロットが下すコメントによった。コメントは操縦席の脇に記録者がついて記録し、それを資料としてパイロット自身が正式な記録を作成した。ペンレコーダの記録紙を交換しデジタルデータをディスクから磁気テープに移す作業は試験の休憩時間をあてた。当初の計画では試験を2時間続ければ、パイロットをはじめとする試験要員の休憩が必要となると予想し、連続計測時間を2時間に設定した。ところが実際には、パイロットは熱心に操縦を続け、交代者が待ち兼ねている状態であり、他の要員もこれに応じたので、休憩時間を確保するのが容易でなかった。記録者は30分程で交代したが、2名で半日続けると疲労が強かった。試験の連続時間の設定においては、パイロットが持つ強いモチベーションと試験要員の疲労など人的要因のよりの確な把握が必要と考えられた。

#### 4.11 トラブル対策

##### 電磁干渉

第1次試験開始時に舵面のポテンシオメータ20mV程度の雑音があることが見いだされた。グラウンドラインやシグナルラインを含めて調査した結果、ジャンクションボックス内部のトランスからもれた磁束が、増幅器に対して電磁干渉を及ぼしていることが判明した。トランスにシールドを施すことによって雑音は0.5mV以下に減少した。

##### 接地による電位差発生

ECU計測信号が約0.1Vシフトして計測される問題が生じた。この現象は、臨時にモニタする信号を同軸ケーブルによって引き、BNCアダプタによって接続したり分岐させたりしている時、不用意にECU信号のBNCアダプタとジャンクションボックスⅢの信号のアダプタが接触した場合に発生した。正常な状態ではECUの電源グラウンドとジャンクションボックスⅢの信号グラウンドは接続されており、ECUの信号グラウンドと電源グラウンドは切り離

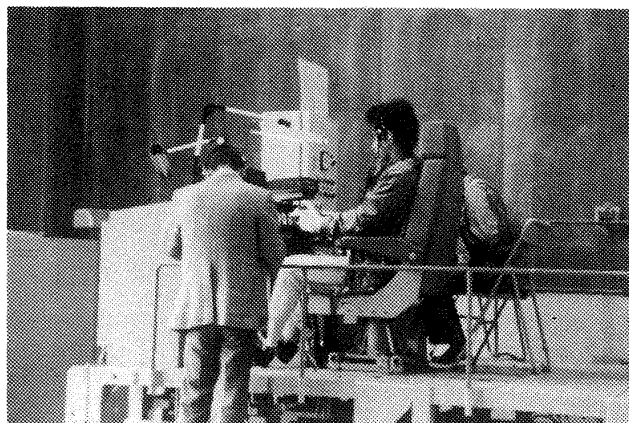


写真3 パイロットドシミュレーション

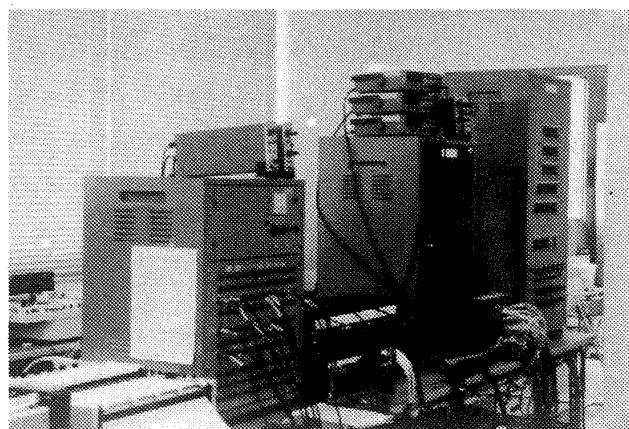


写真4 ジャンクションボックス

されているために問題ないが、アダプタの接触によって ECU と計測との信号グラウンド同士が繋がれると、ECU の信号にバイアスが発生するものと考えられる。同じ現象が、FFT アナライザで ECU 信号を解析しようとした時に発生した。この場合は FFT アナライザの信号がフローティングされない構造になっているため、アダプタ接触の場合と同じ効果を生じたと考えられる。これの対策として、ECU 信号は絶縁増幅器を通してから FFT アナライザに入力することにして、グラウンドを切り離れた。

#### 4.12 記録編集

実験の記録として、書類類、磁気テープ類、およびモニター記録紙類が保存された。これらの記録を対応させるために、ランコードを用いた。ランコードは英数字 14 文字とし、日付・その日のうちでの試行番号・サブ試験名・入力信号・入力波形・パラメタ値のセット番号・再試験記号を略記した。ここに再試験記号とはある試行が不調に終わったため、同じパラメタ値セットでやり直す場合に、前のランコードの末尾に A (2 度目のやり直しでは B) を付け加えて、不調に終わった試行があることを示す記号を指す。

##### (1) リグテスト日誌

センサーからジャンクションボックスに至る計測装置を含む操縦系統機能試験装置の保守および運転、アナログ計算機の使用、実機機能部品の装着および運用点検などの作業は日誌の形式で記録され製本されている。

##### (2) リグテスト記録

試験および計測担当者の数は常時 8～15 名にのぼったうえ、サブ試験によって各部署の担当者が異なるので、試験の計画とまとめについて、さまざまな書類が毎日行われた打合せで配布された。リグテスト記録はこれらの配布文書を配布日の順にファイルしたものである。

##### (3) サブ試験記録

打合せで配布された書類はサブ試験ごとにまとめられて、周波数応答計画実績表、SCAS 制御則試験、機力・SCAS 試験および閉ループ試験、故障模擬試験、およびパイロテッドシミュレーションのファイ

ルに保存されている。

##### (4) FFT アナライザデータシート

周波数応答を試験するとき、ある周波数での計測が終了してから、次の周波数での加振が始まり応答が定常状態に達するまでは、とくに高い周波数領域では 20 秒程度であった。FFT アナライザには印刷機能が備わっているが時間が掛かるので、実測周波数と応答の利得と位相遅れはケースごとに表にして手書きで記録した。これらのデータシートはまとめてファイルして保存した。

##### (5) デジタルデータ収録条件リスト

デジタルデータの収録は、実験の試行ごとにランコードを入力してからスタートおよびストップする仕組みになっている。得られたデータのランコードと収録開始時刻および終了時刻、またディスクのどの位置に記入されたかなどは、専用のファイルに記憶され、オフラインで打鍵される命令に応じて印刷される。データをディスクから磁気テープに移して保存する際に、これらの収録条件を印刷し、磁気テープ番号を記入してファイルにして保存した。

##### (6) 磁気テープ内容リスト

磁気テープは大型計算機で内容を調べ、記入されているブロック数と先頭および最終ブロックの内容を印刷出力し、ファイルして保存した。

##### (7) パイロットコメントおよび履歴集

パイロテッドシミュレーションで得られたメモとそれにもとづきパイロットが作成した正式のコメントシートが、各パイロットの飛行履歴と共にファイルして保存されている。

##### (8) 磁気テープ類

第 3 次試験のデジタルデータは RIG1～RIG158 と名づけられた 158 本の 2400 フィート磁気テープに保存された。第 4 次試験では同様に 4 RIG1 4 RIG32 と名づけられた 32 本の磁気テープに保存された。プログラム類はミニコンピュータシステムのバックアップテープに保存されているが、現時点では公開を考えていない。Dryden の大気擾乱モデルに基づくランダム波は、デジタルおよびアナログ FM の両形式のテープに保存されている。

##### (9) モニター機器記録紙類

記録紙がそれぞれファイルされているモニター機



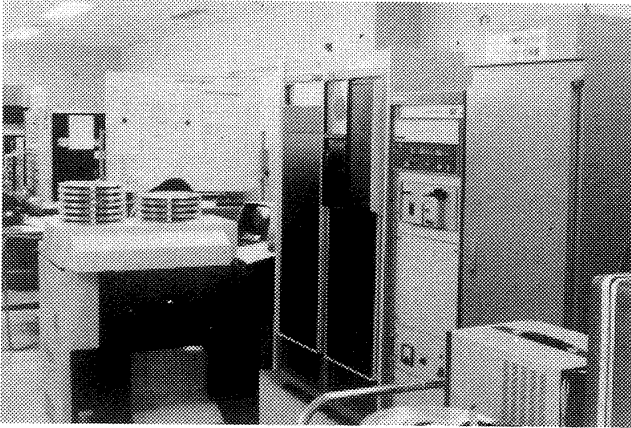


写真5 ミニコンピュータシステム

器は、ペンレコーダ、X-Yレコーダ、電磁オシログラフ、FFTアナライザのプリンタ、および温湿度計である。

## 5. 考 察

### サンプリング頻度について

一般にデジタルデータ処理において、サンプリング間隔が短いほどとのデータに忠実な情報を保存でき、長いほど収録保存が容易になる。本計測のデジタル保存データのサンプリング間隔を決定する主要因となったのは、STOL実験機操縦系統のエイリアシングの解析の問題であった。SCASシステムのアナログデータに含まれる情報のうち、周波数で分類すれば、搭載コンピュータのサンプリング間隔に対するナイキストインタバルに存在する成分（プライマリ成分）が制御の対象になる信号成分であり、それ以外の周波数領域に存在する成分（コンプリメンタリ成分）は雑音成分と考えられる。

本計測では、SCASシステムのエイリアシングを解析するために、第一コンプリメンタリ成分までの情報を保存することとした。搭載コンピュータのサンプリング間隔は40msであるから、ナイキストインタバルは $-12.5\text{Hz}$ から $12.5\text{Hz}$ になり、第一コンプリメンタリ成分は $12.5\text{Hz}$ から $37.5\text{Hz}$ になる。したがってサンプリング定理により、計測システムには少なくとも $75\text{Hz}$ のサンプリング頻度が要求される。

一方、室内実験では商用電源を用いることが多いので、東京地区の場合 $50\text{Hz}$ の雑音がデータに混入しがちになる。デジタルデータを収録するにあた

って、サンプリング頻度をできれば $100\text{Hz}$ 、 $200\text{Hz}$ 、 $400\text{Hz}$ 、……のいずれかに選んでおくと、データの解析時に $50\text{Hz}$ の雑音を処理するのが容易になる。

以上の条件により、本計測ではサンプリング頻度を $100\text{Hz}$ とした。

### データの質について

このように決定された本計測のサンプリング頻度は、同種の試験のサンプリング頻度の中では高いほうであるが、それによってプライマリ成分の帯域が広く、解析や波形観察に有利になっている。

このほかに、本計測でデータの質を高めるためにとくに力を入れたのは、エイリアシング対策と試験の入力信号を念入りに加えたことである。

エイリアシング対策としてフィルタリングサンプル装置を開発し、前処理装置に組み込むことにより、第3.6節に述べたように信号の歪も小さく、コンプリメンタリ成分の削減率も高い効果が得られた。本試験での入力周波数の上限である $2\text{Hz}$ までの信号に関してはセンサや増幅器での精度に比べて充分良好な精度といえる。それより高周波になり、ナイキストインタバルの端に近付くと利得が低減してくるので、解析目的によって補正などの処理が必要となる。

試験の入力信号を念入りに加えることによって、データ全体に高いS/N比が得られた。たとえば静特性試験でも周波数応答試験でも1つのケースに40分掛けてデータを取った。静特性を表わすヒステリシスループが目視の範囲で細かい点まで再現性の高いものであった事実や、FFTアナライザの解析結果がサーボアナライザの解析結果とよく一致した事実には、被解析データのS/N比が高かったことの効果が見られる。第3図は、実機地上機能試験において、エレベータコマンドから昇降舵にいたるシステムの記述関数を測定するのに、本システムの入力形式およびFFTアナライザを用いた結果とソーラトロンインストゥルメンテーショングループ製のサーボアナライザを用いた結果を描いたもので、良い一致を示している。

ここで、良い結果を得るための条件として当然のこととはいえ、シールドおよび接地が充分になされていたことも挙げておきたい。

### 増幅について

計測が困難だったのは小振幅の加振実験であった。閉ループシステムの非線形性に基づくリミットサイクルの可能性を解析するために、4%、あるいは2%の振幅で調和振動入力を加えると、舵面の振幅などはグラフィックディスプレイの分解能では不足することが多く、増幅器を繋ぎ込んで振幅を拡大した。計測機器の仕様を調べてみると、いたるところに増幅器が使用されている。デジタルデータの分解能には限りがあるので、増幅率の制御が容易な安価で質の良い増幅器の開発が望まれる。

### デジタルデータ収録について

従来のPCMレコーダによるデジタルデータ収録に較べて、本システムにより収録されたデジタルデータ量は、実験室で行われた点を考慮にいれても、飛躍的に多い。それに役立っているのは大容量ディスクの出現と、前処理装置の開発を可能ならしめたマイクロプロセッサの普及発達である。しかしながらなおかつ、本計測の実感から考えるに、操縦系統機能試験のように多種類のデータが必要な試験では、チャンネル数が本試験の5倍ぐらいあるのが望ましい。ただしこのうち2倍分は右舷用であり、本試験のように左舷だけの試験では不要と思われる。磁気テープへのデータ転送時間が取り難かったが、デジタルシステムの発達は急なものであるから、現時点でデジタルデータ処理システムを計画すれば、すでにリアルタイムのデータ収録時にデータ転送プログラムを並行して走らせることは容易であろう。

### デジタル演算装置まわりの計測について

今回の試験だけに限れば、搭載コンピュータ内部の演算状況を検査する必要はなかった。今後とも搭載コンピュータは信頼性の高いものが選ばれるのでその内部の演算状況は検査する必要がないと考えられるむきがあるかもしれない。しかしLASPのように、操縦システムの各所にプロセッサが増えていくと思われるし、故障模擬試験でMTUのデータを書き取るのに時間と手間がとられたことも合わせて考えると、デジタル出力を直接記録する端末が必要であることは否定できない。

### 機器の有効性

ペンレコーダは、ディスプレイ類の発達と多様化にもかかわらず、とくに簡便にメモを記入できる点で相変わらず有効であった。X-Yレコーダについては、筆者にはデジタルデータ処理のプログラムを用意すれば不要になると思われる。FFTアナライザは手軽に結果が得られるところから、本計測では非常に有効であった。調和振動波のようにS/N比の高いデータに対しては解析精度も充分であった。ただしオペレーションが若干複雑である。高速オシログラフとして利用したファイバオプティクスCRTレコーダは記録紙が長くなりすぎて経費と巻く手間が掛かるので、必要最小限の時間で記録するには紙送り速度の過渡的変動が大きい。無線通話装置も必須であった。計測機器には通常含めないが、コピー装置は頻繁に使用した。

## 6. おわりに

### 結 論

低騒音STOL実験機の操縦系統機能試験の計測において、フィルタリングサンプル装置の時系列デジタルデータ収録への適用性が実証された。すなわち、フィルタリングサンプル装置を、マイクロプロセッサによって製作し、ミニコンピュータによるデジタルデータ収録の為の前処理装置の中に組み込んで使用し、所期の機能が得られた。これによって、従来困難であったリアルタイムのデジタル処理によるエイリアシング対策が可能であることが示され、時系列デジタルデータ収録に必要なコストが、チャンネル数が多い場合にとくに、低減されることが明らかになった。

また計測システム全体としては、ペンレコーダやX-Yレコーダなど従来の計測機器に、FFTアナライザやファイバオプティクスCRTレコーダなど近年利用可能となった解析記録機器を加えたシステムを構成し、システム各部で信号計測に含まれる誤差や各機器の本試験における有効性の評価を行った。

### 謝 辞

低騒音STOL実験機の操縦系統機能試験は航技研と川崎重工業と新明和工業が協力して行ってきた。本報告を纏めるにあたって、関係各位のご援助を

賜った。とくに新明和工業の庄司氏からは、トラブルとその対策について、図面つきの文書で詳しくご教示を賜った。また、実機地上機能試験の計測を担当した川崎重工業の石川氏からはサーボアナライザとFFTアナライザの計測結果比較についてご教示を賜った。ここに深甚なる感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) THE BOEING COMPANY, BACKGROUND INFORMATION AND USER GUIDE FOR MIL-F-9490D Flight Control Systems-Design, Installation and Test of Piloted Aircraft, General Specification for AFFDL-TR-74-116, Jan. 1975.
- 2) 内田忠夫, 小川敏雄, 多田 章, 岡田典秋, 大和裕幸, 内川五十六, 竹内康郎: STOL実験機の操縦系統機能試験, 飛行機シンポジウム講演集, 1984.
- 3) 多田 章, 小川敏雄, 大和裕幸: STOL実験機の操縦系統機能試験の計測, 飛行機シンポジウム講演集, 1984.
- 4) 多田 章: データ処理のためのフィルタリングサンプル装置, 飛行機シンポジウム講演集, 1983.
- 5) 多田 章: フィルタリングサンプル装置について, 航空宇宙技術研究所報告TR-863, 1985.
- 6) 庄司 彰: テストリングの計測について, 私信, 1985.



TABLE M page (2/7)

適 用 RUNCODE:

(つづき)

NAL DK CH	計 測 信 号 名	OUT PUT	記号	単 位	計測信号物理量 G A I N	電圧範囲 符号(電圧+)	備 考	JUNC. BOX	SMIC CH
1	エルロン CH.1 SS ポジション	AP-1	AIL(L) POS CH.1	mm	0±26.2 2.46mm/v	0±10.65 SS RET		JBX I	64
2	USBフラップ CNTRL VALVE IN	DFV	δ fp	deg	-76.0~0 10° /v	-4.6~3.0 UP 方向	リギング 3.0v	SIGCON	1
3	エレベータ PWR ACT IN	DEP	δ ep	deg	-9.4~17.1 5° /v	-1.88~3.42 δ e UP	リギング 0v	SIGCON	2
4	エレベータ SS ACT 変位	DES	δ es	mm	-26.4~14.3 7.76mm/v	-3.29~1.949 RET	SS : D I S E N G 0 v	SIGCON	3

TABLE M page (3/7)

5	コラム操作量	DC	$\delta c$	deg	-13.6~8.4 5° /v	-2.72~1.68 押し	リギングガタの中心 0 v	SIGCON	4
6	ラダー PWR ACT IN	DRP	$\delta rp$	deg	-31.3~31.4 8° /v	-3.912~3.925 ラダー左	リギング 0 v	SIGCON	5
7	ラダー SS ACT 変位	DRS	$\delta rs$	mm	-26.6~26.32 7.932mm/v	-3.242~3.43 EXTEND	SS : D I S E N G 0 v	SIGCON	6
8	ペダル操作量	DP	$\delta p$	deg	-12.55~12.55 4° /v	-3.138~3.138 左踏み	リギングガタの中心 0 v	SIGCON	7
9	エルロン PWR ACT IN	DAP	$\delta ap$	deg	-33.35~11 10° /v	-3.34~1.1 $\delta a$ UP	リギング 0 v	SIGCON	8
10	エルロン SS ACT 変位	DAS	$\delta as$	mm	0±26.2 8mm/v	-3.236~3.313 EXTEND	SS : D I S E N G 0 v	SIGCON	9
11	ホイール操作量	DW	$\delta w$	deg	0±92.5° 20° /v	0±4.63 左廻し	リギングガタの中心 0 v	SIGCON	10
12	USBフラップレバー操作量	DFL	$\delta usbf1$	deg	-98.25° -0 10° /v	-4.821~5.004 UP方向	DN 50° マーキング位置 0 v	SIGCON	11
13	スポイラー PWR ACT IN	DSP	$\delta spp$	deg	-4.6~51.5 10° /v	-0.46~5.15 UP方向	リギング 0 v	SIGCON	12
14	スポイラー SS ACT 変位	DSS	$\delta sps$	mm	-26.22~26.27 7.884mm/v	-3.23~3.428 RET	SS : D I S E N G 0 v	SIGCON	13
15	DLC サーボモータ変位	DDL	$\delta dlc$	deg	-0.3~65.8 10° /v	-3.03~3.58 スポイラーUP	S/Bレバー: リギング -3.0v	SIGCON	14
16	DDC サーボモータ変位	DDD	$\delta ddc$	deg	0~148 20° /v	-3.9~3.5 UP方向	USB: FULL UP 3.5v	SIGCON	15

TABLE M Page (4/7)

17	FPC レバー操作量	DFP	$\delta$ fpc	deg	-20.165-20.685 5° /v	4.033-4.137 FWD	リギングガタの中心 0 v	SIGCON	16
18	油圧 No.1	P1	P <sub>1</sub>	MPa	0-2.684 0.4923Ma/v	0-4.2 PRESS	S C A出力を0 vに調整	SIGCON	17
19	油圧 No.2	P2	P <sub>2</sub>	MPa	0-2.684 0.4923MPa/v	0-4.2 PRESS	S C A出力を0 vに調整	SIGCON	18
20	油圧 No.3	P3	P <sub>3</sub>	MPa	0-2.684 0.4923MPa/v	0-4.2 PRESS	S C A出力を0 vに調整	SIGCON	19
21	#1 スロットル変位	#1DT-A	#1 $\delta$ th	deg	-9.9-70.6 10° /v	-0.99-7.06 FWD	リギング 0 v	JBXIII	20
22	#2 スロットル変位	#2DT-A	#2 $\delta$ th	deg	-9.3-70.6 10° /v	-0.93-7.06 FWD	リギング 0 v	JBXIII	21
23	#3 スロットル変位	#3DT-A	#3 $\delta$ th	deg	-10-70.4 10° /v	-1.0-7.04 FWD	リギング 0 v	JBXIII	22
24	#4 スロットル変位	#4DT-A	#4 $\delta$ th	deg	-10-70.6 10° /v	-1.0-7.06 FWD	リギング 0 v	JBXIII	23
25	オートトリムホイール変位	DH-A	$\delta$ h	deg	-316.8-522 90.78° /v	-3.5-5.75 DN	マーキング位置 0 v 水平安定板で→ 2° /v	JBXIII	24
26	スポイラ (左) 舵角	DSL-A	$\delta$ spl	deg	0-58.44 10° /v	0-5.84 UP	スポイラ インプット リンク: リギング +0.1v	JBXIII	25
27	スポイラ (右) 舵角	DSR-A	$\delta$ spr	deg	-8.8-74.6 10° /v	-0.88-7.46 UP	リギング 0 v	JBXIII	26
28	エレベーター舵角	DE-A	$\delta$ e	deg	-25.2-15.33 4° /v	-6.3-3.83 DN	リギング 0 v	JBXIII	27

TABLE M Page (5/7)

29	USB フラップ舵角	DF-A	$\delta$ usb	deg	-52.1-0.3 10° /v	-5.21-0.03 UP方向	リギング 0v	JBX III	28
30	エルロン舵角	DA-A	$\delta a$	deg	-55.9-20 10° /v	-5.59-2.0 UP	リギング 0v	JBX III	29
31	ラダー舵角	DR-A	$\delta r$	deg	-30.85-30.8 4° /v	-7.71-7.7 LH	リギング 0v	JBX III	30
32	横揺れ角	PHI-S	$\phi$	deg	0±60 6° /v	0±10 右		JBX III	31
33	縦揺れ角	THE-S	$\theta$	deg	0±30 3° /v	0±10 NOSE UP		JBX III	32
34	速度	V-S	V	m/s	0-206 20.6m/s/v	0-10 速度:大		JBX III	33
35	迎角	ALP-S	$\alpha$	deg	0±60 6° /v	0±10 矢羽根:下向		JBX III	34
36	横滑り角	BET-S	$\beta$	deg	0±30 3° /v	0±10 矢羽根:右向		JBX III	35
37	X軸加速度	NX-S	N x	m/s <sup>2</sup>	0±19.6 1.96m/s <sup>2</sup> /v	0±10 前へ加速		JBX III	36
38	Y軸加速度	NY-S	N y	m/s <sup>2</sup>	0±19.6 1.96m/s <sup>2</sup> /v	0±10 右へ加速		JBX III	37
39	横揺れ角速度	P-S	P	deg/s	0±60 6° /s/v	0±10 右ターン		JBX III	38
40	縦揺れ角速度	Q-S	q	deg/s	0±30 3° /s/v	0±10 NOSE UP		JBX III	39



TABLE M page (6/7)

41	偏揺れ角速度	R-S	r	deg/s	0±30 3° /s/v	0±10 右ターン	JBX III	40
42	#1 スロットル変位	#1DT-1	#1δ th	V	-9.9~70.6 5.4v/v	-9.64~5.31 FWD	JBX II	41
43	#1 エンジン出力	#1NI-1	#1 N 1	rpm	0~6000 -600rpm/v	0~-10 (-のみ)	JBX II	42
44	#2 エンジン出力	#2NI-1	#2 N 1	rpm	0~6000 -600rpm/v	0~-10 (-のみ)	JBX II	43
45	#3 エンジン出力	#3NI-1	#3 N 1	rpm	0~6000 -600rpm/v	0~-10 (-のみ)	JBX II	44
46	#4 エンジン出力	#4NI-1	#4 N 1	rpm	0~6000 -600rpm/v	0~-10 (-のみ)	JBX II	45
47	TDU入力 (#1, 4)	TDUC-1	#1,4 TDU CMD	V	0±10 1v/v	0±10 FWD	JBX II	46
48	DLC入力	D L C C	D L C C	V	0~10 1v/v	0~10 SPOIL UP	JBX II	47
49	#2 スロットル変位	#2DT-2	#2δ th	V	-9.3~70.6 5.37° /v	-9.64~5.23 FWD	JBX II	48
50	DDC入力	D D C C	D D C C	V	0±10 1v/v	0±10 USB DN	JBX II	49
51	TDU入力 (#2, 3)	TDUC-3	#2,3 TDU CMD	V	0±10 1v/v	0±10 FWD	JBX II	50
52	エレベータch.1 SSコマンド	E C -1	ELEV. CMD CH.1	V	0±10 1v/v	0±10 SS RET	JBX I	51

TABLE M page (7/7)

53	エルロン ch.1 SSコマンド	AC-1	AIL(L) CMD CH.1	V	0 ± 10 1v/v	0 ± 10 SS EXT	JBX I	52
54	ラダー ch.1 SSコマンド	RC-1	RUD CMD CH.1	V	0 ± 10 1v/v	0 ± 10 SS EXT	JBX I	53
55	スポイラ ch.1. SSコマンド	SC-1	SPOIL CMD CH.1	V	0 ± 10 1v/v	0 ± 10 SS RET	JBX I	54
56	高度	H-S	H	m	0~381 38.1m/v	0~10 SLより上	JBX III	55
57	#1エンジン出力	#1N1-S	#1 N 1	rpm	0~10000 1000rpm/v	0~10 回転数:大	JBX III	56
58	#2エンジン出力	#2N1-S	#2 N 1	rpm	0~10000 1000rpm/v	0~10 回転数:大	JBX III	57
59	昇降率	VS-S	VS	m/s	0 ± 10.16 10.16m/s/v	0 ± 10 上昇	JBX III	58
60	コラム操作量	DC-1	δ c	deg	-13.67~8.5 1.328° /v	-9.941~6.749 押し	JBX II	59
61	ホイール操作量	DW-1	δ w	deg	-92.17~92.67 9.325° /v	-9.875~9.946 左回転	JBX II	60
62	FPCレバー操作量	DFP-1	δ fpc	deg	-20.165~20.685 1.973° /v	10.46~10.24 FWD	JBX II	61
63	迎角	ALP-1	α	deg	0 ± 40 4° /v	0 ± 10 NOSE UP	JBX II	62
64	エレベータ ch.1 SS ポジション	EP-1	ELEV POS ch.1	mm	-26.4~14.3 2.406mm/v	-6.19~10.723 SS EXT	JBX I	63

## 付録B 各直流増幅器仕様

## 直流増幅器(1)

アナログ計算機の直流電圧出力に増幅およびオフセット調整を施し、SCAS用テストおよび操縦席計器盤に出力する。メーカーおよび型番不詳。入力電圧範囲 $\pm 10\text{V}$ 、入力インピーダンス $500\text{K}\Omega$ 以上。出力電圧範囲 $\pm 10\text{V}$ 、出力インピーダンス $1\text{K}\Omega$ 以上。利得 $0.5$ 倍 $\sim 0.5$ 倍。オフセット出力にて $\pm 5\text{V}$ 以上。極性切り換え可能。直線性 $\pm 0.2\%$ フルスケール。利得安定性 $\pm 0.2\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。ゼロドリフト $\pm 0.2\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。使用温度 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。湿度 $5\sim 85\%$  RH。内蔵校正電圧 $0$ および $\pm 80\%$ フルスケールにて全チャンネル同時校正可能。

## 直流増幅器(2)

ポテンシオメータ( $5\text{K}\Omega$ 、センタタップ付き)の励磁用に $\pm 10\text{V}$ 直流電源を出力し、ポテンシオメータの直流電圧出力に増幅およびオフセット調整を施し、アナログ計算機に出力する。メーカーおよび型番不詳。ポテンシオメータ励磁用電圧 $\pm 10\text{V} \pm 0.02\%$ フルスケール。入力電圧範囲 $\pm 2, \pm 4, \pm 6, \pm 8, \pm 10\text{V}$ 、入力インピーダンス $500\text{K}\Omega$ 以上。出力電圧範囲 $\pm 10\text{V}$ 、出力インピーダンス $1\text{K}\Omega$ 以上。利得 $0.5$ 倍 $\sim 0.5$ 倍。オフセット出力にて $\pm 5\text{V}$ 以上。極性切り換え可能。直線性 $\pm 0.2\%$ フルスケール。利得安定性 $\pm 0.2\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。ゼロドリフト $\pm 0.2\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。使用温度 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。湿度 $5\sim 85\%$  RH。内蔵校正電圧 $0$ および $\pm 80\%$ フルスケールにて全チャンネル同時校正可能。

## シグナルコンディショナ 1201

ストレインゲージの励磁用に直流電源を出力し、ストレインゲージの直流電圧出力に増幅およびオフセット調整を施し、出力する。明星電気製。ストレインゲージ励磁用電源 $\pm 3.0\text{V} \pm 0.2\%$ フルスケール、 $50\text{mA}$ 以下。入力範囲 $\pm 500, \pm 1000, \pm 2000, \pm 50000\mu\text{S}$ トレイン( $60\sim 500\Omega$ )のブリッジに適合。出力電圧範囲 $\pm 5\text{V}$ 、出力インピーダンス $1\text{K}\Omega$ 以上、直線性 $\pm 0.2\%$ フルスケール。レスポンス $\text{DC}\sim 2000\text{Hz}$ ( $\text{DC}$ に対して $\pm 4\%$ 以内)。ゼロドリフト $\pm 0.012\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。利得安定性 $\pm 0.012\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。内部電源変動 $0.5$

$\%/\text{V}$ 。

## シグナルコンディショナ 1101

ポテンシオメータの励磁用に直流電源を出力し、ポテンシオメータの直流電圧出力に増幅およびオフセット調整を施し、出力する。明星電気製。ポテンシオメータ励磁用電圧 $\pm 10\text{V} \pm 0.02\%$ フルスケール。入力電圧範囲 $\pm 0.5, \pm 1.0, \pm 1.5, \pm 2.0, \pm 2.5\text{V}$ 、入力インピーダンス $1\text{M}\Omega \pm 5\%$ (信号源内部抵抗 $\leq 10\text{K}\Omega$ )。出力電圧範囲 $\pm 5\text{V}$ 、出力インピーダンス $1\text{K}\Omega$ 以上。直線性 $\pm 0.2\%$ フルスケール。レスポンス $\text{DC}\sim 500\text{Hz}$ ( $\text{DC}$ に対して $\pm 4\%$ 以内)。ノイズ $5\text{mV RMS}$ 以下(入力短絡時)。ゼロドリフト $\pm 0.012\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。利得安定性 $\pm 0.012\%$ フルスケール/ $^{\circ}\text{C}$ 。内部電源変動 $0.5\%/\text{V}$ 。オフセット $0$ および $2.5 \pm 0.5\text{V}$ (調整可能)。

次の2種類の直流増幅器は日電-三栄測器製で、信号振幅が小さい場合に、臨時にジャンクションボックスとペンレコーダ、FFTアナライザ、およびデジタルデータ処理システムとの間に挿入して使用した。

## 直流増幅器 6L02

入力形式は直結作動入力。入力インピーダンスは入力 $\text{ATT}\times 1$ で $5\text{M}+5\text{M}\Omega$ また入力 $\text{ATT}\times 1/100$ で $1\text{M}+1\text{M}\Omega$ 。利得 $10\sim 1000$ 、入力 $\text{ATT}\times 1$ と $\times 1/100$ ステップ切り換え。利得精度は入力 $\text{ATT}\times 1$ で $\pm 0.5\%$ または入力 $\text{ATT}\times 1/100$ で $\pm 1\%$ 。利得安定度 $\pm 0.02\%/\text{C}$ 。直線性 $\pm 0.5\%/F.S.$ 。周波数特性 $\text{DC}\sim 100\text{KHz}$ で $+1\text{dB}, -3\text{dB}$ 。ローパスフィルタは2ポールベッセル型フィルタでカットオフ $10\text{Hz}, 100\text{Hz}, 1\text{KHz}, \pm 10\text{KHz}$ 。同相電圧除去比 $80\text{dB}$ 。ドリフトは利得 $\times 1000$ 時に入力換算 $10\mu\text{V}/\text{C}$ 。雑音は利得 $\times 1000$ フィルタ $\text{W/B}$ 時に入力換算 $60\mu\text{V}_{\text{p-p}}$ 。セットリングタイムはフルスケールのステップ入力に対して出力が最終値の $99.5\%$ に達するまで $50\mu\text{s}$ 。出力は電圧 $\pm 10\text{V}$ 、電流 $\pm 50\text{mA}$ 、インピーダンス $1\Omega$ 、容量負荷 $0.1\mu\text{F}$ で発振しない。

## 直流増幅器 6L06

入力形式は直結作動入力。入力インピーダンスは入力 $10\text{M}\Omega$ 。利得 $1\sim 2000$ 。利得精度 $\pm 0.1\%$ 。利得安定度 $\pm 0.01\%/\text{C}$ 。直線性 $\pm 0.025\%/F.$

S. 周波数特性は DC ~ 10 KHz で +1 dB, -3 dB。ローパスフィルタは OUT-F のみ 2 ポールベッセル型フィルタでカットオフ 10 Hz, 100 Hz, 1 KHz, およびワイドバンド。同相電圧除去比は 1 K $\Omega$  不平衡信号源の状態では 120 dB, 220  $\Omega$  不平衡信号源の状態では 100 dB。零ドリフトは 2  $\mu$ V/°C RTI (最大感度)。雑音は 20  $\mu$ V<sub>p-p</sub> RTI (最大感度)。セッティングタイムはフルスケールのステップ入力に対して出力が最終値の 99.9 % に達するまで 500  $\mu$ s。出力電圧  $\pm$  10 V。出力電流は OUT-D が  $\pm$  50 mA, OUT-F が  $\pm$  5 mA。出力インピーダンス 1  $\Omega$ , 容量負荷 0.1  $\mu$ F で発振しない。

### 付録 C 各モニタ解析機器仕様

#### ペンレコーダ

ペンレコーダは渡辺測器製 WTR211 を 2 台と渡辺測器製リニアコーダ Mark VII とを用いた。

#### WTR211

ガルバノメータは GIII-50 T。電流感度 20 mm/250 mA。内部抵抗 30  $\Omega$  以下 (二次巻線約 180  $\Omega$ )。ペン長 130 mm。記録振幅  $\pm$  20 mm。増幅器の最大感度 20 mV/cm (40 mV でフルスケール)。増幅器の入力抵抗は 500 K $\Omega$ /V/cm, 最高 10 M $\Omega$ , 20 mV/cm の測定レンジで 10 K $\Omega$ , 他の測定レンジはその数値に比例して変化。測定レンジ 0.02 ~ 20 V/cm および OFF。入力形式は単極片線接地。安定性は電源電圧  $\pm$  10% の変動に対して零点の変動 0.1 mm 以下, 感度変化 0.5 % 以下。1 時間当りの零点変動 0.1 mm 以下。雑音は入力端子を短絡した状態で 0.2 mm 以下。直線性はフルスケールの 2.5 % 以内。周波数特性は振幅 20 mm<sub>p-p</sub> で 0 ~ 70 c/s までの偏差は +2 %, -0.5 % 以内。

#### Mark VII

記録振幅  $\pm$  20 mm。入力形式はガードシールド付アースフローティング。回路形式は DC サーボ方式。入力抵抗はポテンショメトリック。感度  $\pm$  2.5 V/20 mm。確度はフルスケールの  $\pm$  0.5 % 以内 (非直線性および不感帯を含む)。周波数特性 (1 Hz 基準) は 20 mm<sub>p-p</sub> のとき 0 ~ 80 Hz で +5 %, -10%。基準電圧 1 V < 確度  $\pm$  0.2 % >。プリアンプの最高感度は 5 mV/cm。測定レンジは 5 mV ~ 100 V/cm で、

切換え確度は基準レンジ 50 mV/cm で  $\pm$  1 %。プリアンプの入力形式はガードシールド付アースフローティング。入力抵抗は 1 M $\Omega$  で一定。

#### 高速オシログラフ

高速オシログラフは日電-三栄製のルミグラフ 5 F13 に 1803 形のプラグインアンプ 21 個を接続して使用した。測定範囲 1 mV ~ 20 V。測定レンジ 10 ~ 1000 mV/cm。入力形式は平衡差動入力。入力抵抗 1 M $\Omega$  以上。同相分弁別比 (CMRR) は 60 dB 以上。同相許容電圧 (CMV) は  $\pm$  20 VDC またはピーク値。ドリフト  $\pm$  0.1 %/F.S./°C (F.S. は 200 mm)。直線性  $\pm$  0.5 %/F.S。周波数特性は DC ~ 10 KHz が 3 dB 以内。

#### X-Y レコーダ

X-Y レコーダは渡辺測器製 WX4302 を使用した。X 方向のみ 2 チャンネルになっている。記録面積は A3 判。回路方式は DC サーボ方式。入力方式はガードシールドつきアースフローティング。最高感度 50  $\mu$ V/cm。測定レンジ 50  $\mu$ V/cm ~ 20 V/cm。入力抵抗は 10 M $\Omega$  で一定。許容信号源抵抗 10 K $\Omega$  以下。確度はフルスケールの  $\pm$  0.25 % 以下 (非直線性・不感帯を含む)。不感帯はフルスケールの  $\pm$  0.1 % 以下。コモンモード除去比は最高感度で DC 150 dB, AC 130 dB 以上。タイムベースは 0.02 cm/s ~ 10 cm/s (X, Y<sub>1</sub> のみ)。最大ペン速度は X 方向に 0.8 m/s, Y 方向に 1.5 m/s。最大ペン加速度は X 方向に 2.5 G, Y 方向に 4 G。

#### メモリスコープ

日立電子製のデジタルメモリスコープ VC-801L を使用した。ブラウン管は 130 BUB31 を用いている。感度は 1 mV/div ~ 5 V/div。デジタル時の分解能はフルスケールに対して 8 ビット以内。周波数帯域はオシロモード時には DC ~ 5 MHz, フリーズモード時には DC ~ 25 KHz  $\pm$  1/3 dB。入力結合 AC-GND-DC。入力インピーダンスは直接で 1 M $\Omega$   $\pm$  5 %, 約 30 pF。

#### FFT アナライザ

小野測器製の CF-500 デュアルチャンネル FFT アナライザを使用した。処理機能にはトランジェントレコーディング, パワースペクトラム, 伝達関数, 軸単位変換などがある。入力インピーダンス 1 MHz。入

力カップリングDC/AC(0.5Hz, -3dB)。アッテネータレンジ±0.1～20V<sub>p-p</sub>。A/D変換器の分解能12ビット。サンプリング周波数は分析レンジの2.56倍。周波数レンジは1～500Hz, および外部クロックによるサンプリング。周波数分解能は周波数レンジの1/400。入力データ数1024点/チャンネル数。スペクトラムライン数はDC+400+オーバーオール。ダイナミックレンジはリニア平均4回の時68dB以上。振幅フラットネスは±0.1dB(TYP), ±0.5dB max。周波数軸の確度0.01%/F.S.以内。

アンチエイリアシングフィルタは-120dB/OCTのものを5Hz以上の周波数レンジにより自動設定。アベレージ回数設定2～256の8段。リアルタイムレンジはスペクトラム解析において5Hzレンジまで。

#### デジタルボルトメータ

デジタルボルトメータはタケダ理研製デジタルマルチメータTR6841を使用した。測定は積分方式。入力はフローティング方式。測定速度は10～0.05回/秒およびホールド。表示は発光ダイオードによる10進5桁。

---

## 航空宇宙技術研究所報告928号

昭和62年4月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182

印刷所 株式会社 東京プレス  
東京都板橋区桜川2-27-12

---

