

UDC 629.73.064.3:
629.735.7

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-224

フライングテストベッド油圧系統試験

藤枝 郭俊・十 河 弘

川崎 純男・中村 公昭

1972 年 5 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-181	航空機の乗り心地について	1970年 6 月	幸 尾 治 朗
TM-182	排気系障害板の模型実験	1970年 9 月	田 辺 義 一
TM-183	ロケット模型の大型低速風洞試験	1970年 9 月	近 藤 洋 史, 高 橋 宏 桑 野 尚 明
TM-184	金属線へ衝突する液滴の現象	1970年 9 月	田 丸 卓, 乙 幡 安 雄
TM-185	推進エンジン用空気取入口の予備実験	1970年 9 月	近 藤 博, 石 賀 保 正
TM-186	NAL-25-31 型ロケットの試作と飛しょう試験	1970年11月	宇宙研究グループ
TM-187	推力 300 kg ジンバル液体ロケットエンジンの揺動特性 (I)	1970年11月	植 崎 哲 二, 中 野 富 雄 橋 本 亮 平, 竹 花 真 一 郎
TM-188	自由飛行模型 FFM-10 の空力微係数におよぼす機体弾性変形の影響について	1970年11月	河 崎 俊 夫, 河 本 巖 戸 田 勸
TM-189	燃料蒸発管に関する研究 (III) 一管内の燃料・空気二相流への熱伝達一	1970年12月	田 丸 卓, 乙 幡 安 雄 鈴 木 邦 男
TM-191	大型電子計算機プログラム・ライブラリ	1970年12月	戸 川 隼 人, 磯 部 俊 夫
TM-192	極超音速風洞M9ノズル較正試験	1971年 1 月	長 洲 秀 夫, 橋 本 登 穂 積 弘 一, 松 崎 貴 至
TM-194	航空機の STOL 性に関する一考察	1971年 1 月	田 辺 義 一
TM-195	曲面壁上の噴流に対する噴出孔形状, 配列の効果について	1971年 1 月	西 村 英 明, 臼 井 弘 井 上 重 雄, 三 村 富 嗣 雄
TM-196	NAL-16H 型ロケットの研究試作	1971年 1 月	宇宙研究グループ
TM-197	二次元煙風洞について	1971年 1 月	高 橋 宏, 戸 田 亘 洋 白 井 正 孝
TM-198	等高線を描かせるプログラム	1971年 1 月	磯 部 俊 夫
TM-199	航空機用ヒータの燃焼器の開発実験	1971年 2 月	堀 内 正 司, 本 間 幸 吉 矢 萩 恵 一
TM-202	単発 STOL 実験機に関する研究 一テレメータ実験局の電界強度測定一	1971年 6 月	幸 尾 治 朗, 小 野 孝 次 矢 沢 健 司, 塚 野 雄 吉
TM-203	固体ロケットの比推力測定の標準化	1971年 6 月	五 代 富 文, 岡 部 祐 二 郎 清 水 昭 紀, 伊 藤 克 弥 西 村 久 男
TM-204	サーボ機構の過渡応用改善用デジタルコントローラについて	1971年 7 月	小 川 鉦 一, 島 村 正 人
TM-205	自由飛行模型 FFM-10 の動安定微係数の推定について	1971年 7 月	河 崎 俊 夫, 河 本 巖
TM-206	静止衛星の軌道保持シミュレーションシステムの構成 (I) 一地球の重力場による摂動一	1971年 8 月	松 島 弘 一
TM-207	対称スピン衛星用ニューテーション・ダンパの解析	1971年 9 月	村 上 力, 狼 嘉 彰
TM-208	薄板継手構造の強度についての実験 一接着およびリベット継手一	1971年11月	池 田 為 治, 熊 倉 郁 夫 竹 内 和 之
TM-209	試作接着面応力センサの較正試験	1971年11月	大 竹 邦 彦, 遠 藤 修 司 野 口 義 男
TM-210	小型加速度計による風洞模型姿勢角の測定	1971年12月	原 亘 利
TM-211	軽量ジェットブースト STOL の一検討	1971年12月	西 村 博 史
TM-212	原動機部要素試験設備用消音装置の特性試験	1972年 1 月	鳥 崎 忠 雄, 小 林 実
TM-213	フライングテストベッド空気系統試験	1972年 2 月	田 辺 義 一, 小 暮 泰 之 川 崎 純 男
TM-214	フライングテストベッド燃料系統試験	1972年 2 月	田 辺 義 一, 小 暮 泰 之 川 崎 純 男

フライングテストベッド油圧系統試験*

藤 枝 郭 俊**・十 河 弘***
川 崎 純 男***・中 村 公 昭****

1. ま え が き

フライングテストベッド¹⁾(FTB, Flying Test Bed)の油圧系統に要求される機能は、自動安定装置(ASE, Automatic Stabilization Equipment) 出力用、空気タービン制御用の電気油圧式ならびに機械油圧式サーボアクチュエータおよび操縦系統の非可逆装置用油圧サーボシリンダの駆動、ならびにこれら各部への圧油の供給、回収である。

この油圧系統は、機能の良否が機体の操縦安定性に重大な影響を及ぼし、その故障は FTB の緊急状態を意味する。故にこの機能保障をするため、自動切換の

予備の油圧源や二重系サーボアクチュエータなどの対策を講じて信頼性を高める設計がなされている。したがって試験は量も多く、質的にも慎重を要する。

この油圧系統について、すべてが要求されるとおりの機能および特性を有することを確認するために、FTB に組込む前に系統の主要構成部品単体ならびに全系統の作動および特性試験を実施した。本報告はこれらの試験結果をまとめたものである。

2. 油圧系統の構成

油圧系統は、油圧源部とサーボアクチュエータ部(油圧サーボシリンダを含む)に大別される(図 1)。

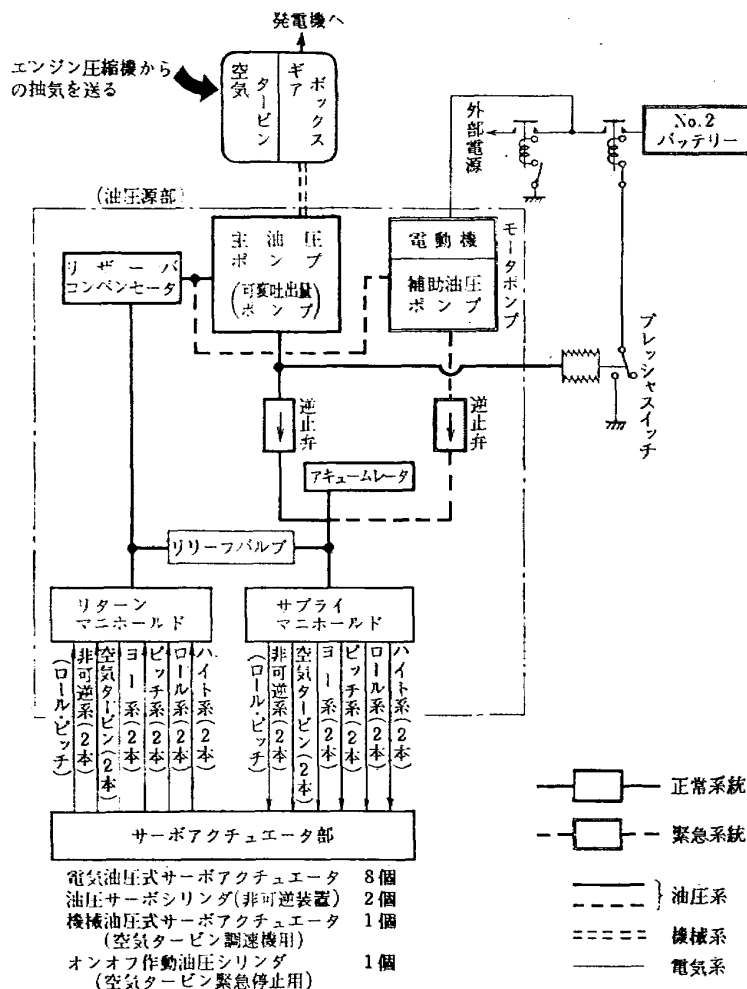


図 1 油圧系統ブロック図

* 昭和 47 年 2 月 8 日受付
** 新型航空機部

*** 富士重工業株式会社
**** 三菱重工業株式会社

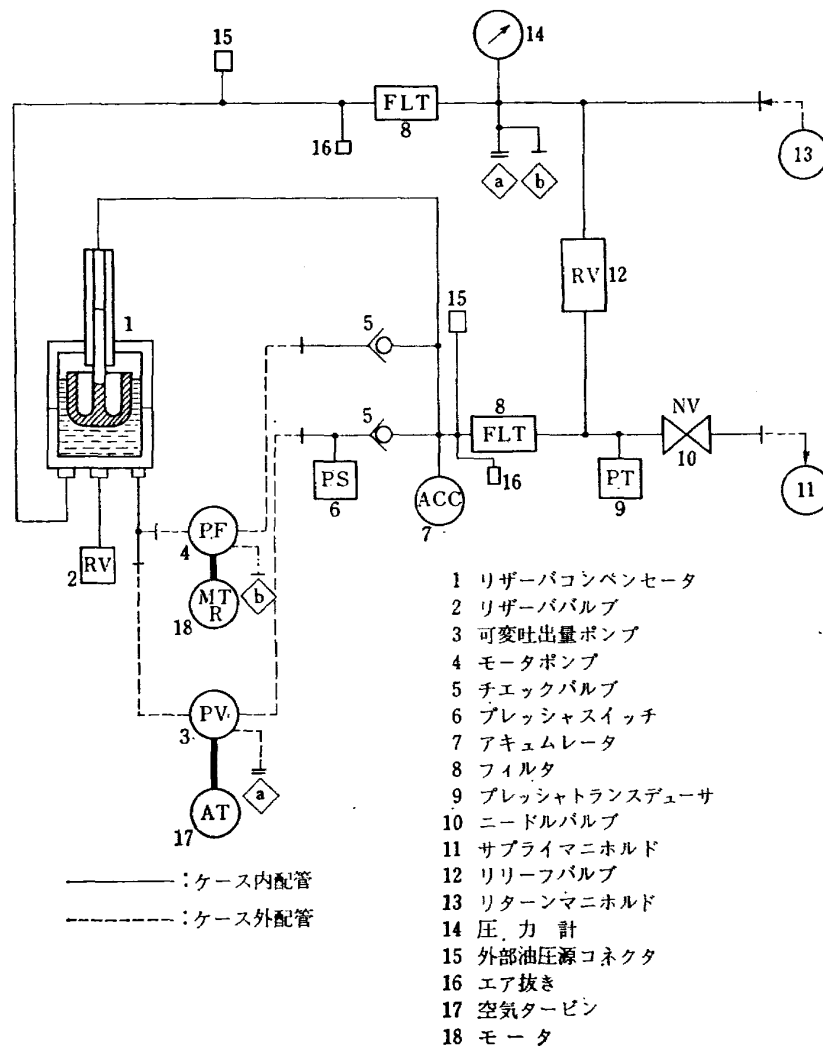


図 2 油圧源部構成図

前者はエンジン圧縮機からの抽気で回転する空気タービンからギャードダウンして駆動される可変吐出量ポンプ (主油圧ポンプ)、リザーバコンベンセータ、アキュムレータ、マニホールド等の正常系統と、バッテリー、モータポンプ等の緊急系統からなる。空気タービンまたは主油圧ポンプ故障の場合、油圧低下をプレッシャスイッチが自動的に検出作動して緊急系統の補助油圧ポンプがバッテリーで駆動されるようになっている。

また後者には、各操縦系統 (ピッチ、ロール、ヨー、ハイト系) 毎に ASE 出力用として各々 2 個 (二重系) の合計 8 個の電気油圧式サーボアクチュエータ、空気タービン調速機用の機械油圧式サーボアクチュエータ、空気タービン緊急停止用の電磁弁によるオンオフ動作の油圧シリンダおよびピッチ、ロール系に組み込まれた操縦系統反力吸収用の 2 個の油圧サーボシリンダ (非可逆装置) がある。

油圧源部の構成と計画性能を図 2 および表 1 に、サ

表 1 油圧源部計画性能

項 目	性 能 値
(1) 可変吐出量ポンプ	
回 転 数	約 1,800 rpm
出 口 圧 力	1,000 lb/in ²
流 量	2.9 gal/min 以上
(2) モータポンプ (出力 1.7 ps 直流) (モータ付)	
出 口 圧 力	1,000 lb/in ²
流 量	2.9 gal/min 以上
(3) リザーバ容量	1,000 cc
(4) アキュムレータ容量	500 cc
(5) コンベンセータ与圧圧力	1~2.3 kg/cm ²

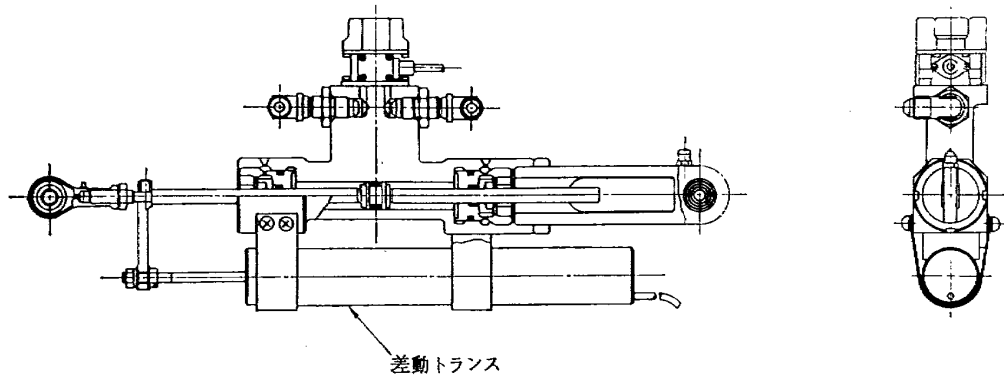


図 3 サーボアクチュエータの構造

表 2 サーボアクチュエータ計画性能

項 目	性 能 値
(1) アクチュエータ	
最大出力	8.44 kg
ストローク	±35 mm
最大速度	45 cm/sec
動的応答性(位相 90° 遅れ点)	4 cps 以上
(慣性質量 0.01 kg·sec ² /cm)	
(2) 差動トランス	
測定範囲	±35 mm
電流および力率	約 5 mA
感 度	250 mV/mm±1% (出力 6.3 V にて)
残留電圧	約 50 mV
入力と出力との位相差	約 20° 以下
直 線 性	0.1% 以下
励磁周波数	400 Hz
励磁電圧	6.3 V

ーボアクチュエータの構造と計画性能を図3および表2に示す。これらの性能は、米軍規格^{5),6)}および製作会社の規格等を基に FTB 用として設定した。

なお油圧システム全体の環境試験については、FTB が特別な環境条件下および長期間使用をしないので、その性能試験および外観検査等により判断し、実施しなかった。

3. 単体試験

この試験は、油圧系統を構成する主な構成部品である主油圧ポンプ(可変吐出量ポンプ)、補助油圧ポンプ(モータポンプ)、アキュムレータ、リザーバコンペンセータ、マンホールドおよび電気油圧式サーボ

アクチュエータの各単体についての機能の特性確認のために行われたものである。この単体試験は、42 年 2 月、三菱重工業株式会社、名古屋航空機製作所で実施された。

3.1 可変吐出量ポンプ流量試験

【試験方法】 ブースト圧 2.5 lb/in²、リリーフバルブ圧を 1,100 lb/in² に設定し、ポンプの回転数に対する吐出流量を測定する。試験のブロック図を図4に示す。ポンプの駆動は、空気タービンによってせず、別のモータを使用した。(この試験に使用した作動油は MIL-H-6083 B であるが、実際に使用するのは、全て MIL-H-5606 である。)

【試験結果】 油圧ポンプの回転数に対する流量の測定結果を図5に示す。表1に示す計画性能と比較すると、測定結果は計画回転数より約 100 rpm 高い 1,900 rpm において流量 2.9 gpm 以上という計画値を満足している。この油圧ポンプは、FTB では空気タービンによって駆動され、そのガバナー設定回転数によって油圧ポンプの回転数が定まる。試験結果の回転数 1,900 rpm は、空気タービンのガバナー設定回転数の調整範囲内であるので計画性能は満足している。

3.2 可変吐出量ポンプ負荷変動試験

【試験方法】 可変吐出量ポンプを FTB 油圧系統の正規の状態に装着し、空気タービンによってポンプを

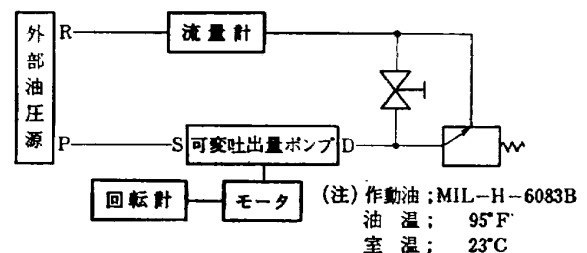


図 4 可変吐出量ポンプの流量試験ブロック図

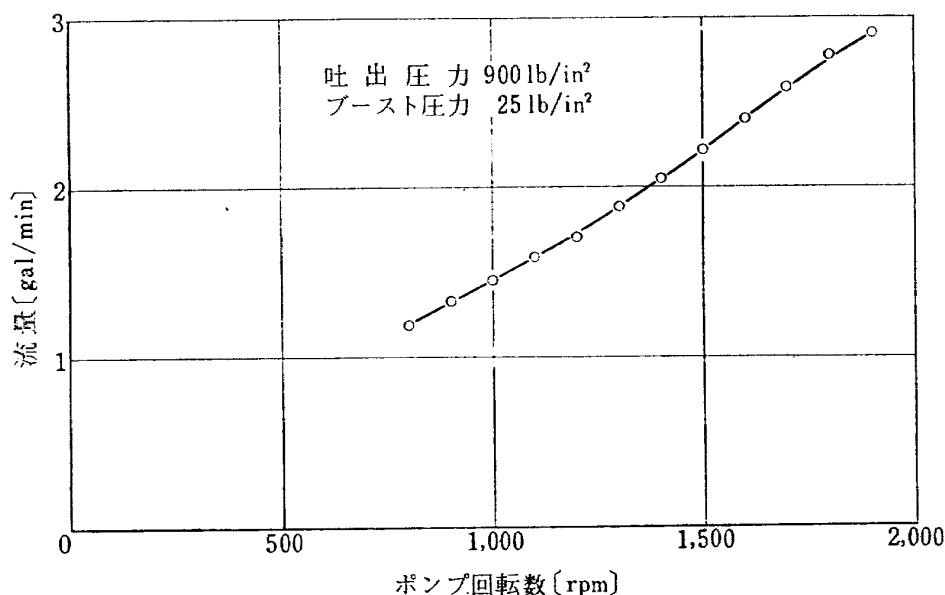


図 5 可変吐出量ポンプ流量特性

表 3 可変吐出量ポンプ負荷変動特性

負荷変動 油量 (gal/min)	ポンプ 吐出圧力 (kg/cm ²)	空 気 タ ー ビ ン 状 態					備 考
		空気流量 (kg/s)	回 転 数 (rpm)	ケース温度 (°C)	入口空気温度 (°C)	出口空気温度 (°C)	
2.85	65	0.218	41,300	6	8.5	-14	全負荷
0	73	—	41,500	10	8.3	-20	無負荷
2.90	65	0.218	41,400	13	8	-20	全負荷
0	73	0.194	41,400	17	8	-20	無負荷
2.90	64	0.217	41,200	18	8	-20	全負荷

(注) 表中 — 印は、測定もれ

表 4 可変吐出量ポンプの入力変動特性

入力側変動 エアータービン 入 口 圧 力 (kg/cm ²)	ポンプ 吐出圧力 (kg/cm ²)	ポンプ 油 量 (gal/min)	空 気 タ ー ビ ン 状 態				
			空気流量 (kg/s)	回 転 数 (rpm)	ケース温度 (°C)	入口空気温度 (°C)	出口空気温度 (°C)
4~3	63	2.85	0.217	41,100	18	8	-18
3~4	63	2.90	0.217	41,400	20	0	-20
4~3	63	2.90	0.217	41,200	20	8	-20
3~4	61	2.90	0.211	41,200	21	7.8	-20

駆動し、空気タービンをそのガバナーが作動する回転数に上げ、その時の空気タービン入口圧力を一定に保つ。この状態で油圧回路中のソレノイドバルブを ON, OFF する事によって全流量を開閉し、可変吐出量ポンプに全負荷変動を与える。このときのポンプ吐出圧力、その他関連部の作動状況を測定する。

【試験結果】 全負荷変動の油圧ポンプへの影響は、吐出圧力が全流量開時約 65 kg/cm² (約 920 lb/in²) から全流量閉時約 73 kg/cm² (約 1,040 lb/in²) に上昇するが、これは圧力補償付可変吐出量ポンプの性能より来るものであり、油圧系統に異常は見られない。表 3 に結果を示す。

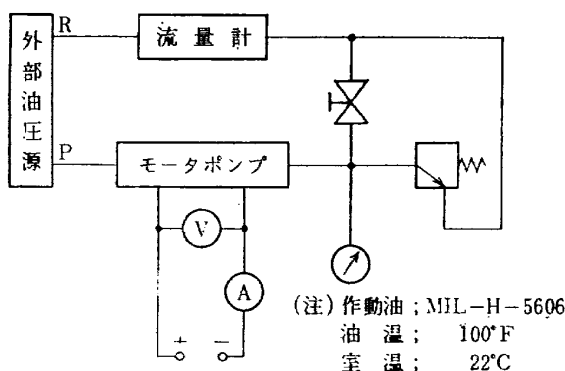


図 6 モータポンプの流量試験ブロック図

3.3 可変吐出量ポンプ入力変動試験*

【試験方法】 3.2 と同じ様にして可変吐出量ポンプを作動し、空気タービン入口圧力を約 1 kg/cm^2 のステップ状で変化させ、この時の可変吐出量ポンプの作動状態をみる。

【試験結果】 空気入口圧力がステップ状に約 1 kg/cm^2 変化しても、油圧ポンプには何ら影響もなく安定な運転である。表 4 に結果を示す。

3.4 補助油圧ポンプ（モータポンプ）の流量試験

【試験方法】 ブースト圧 30 lb/in^2 ，リリーフバルブ圧を 1.100 lb/in^2 に設定し、絞り弁を全開にする。電源を接続し、ポンプを駆動し、絞り弁を変えて吐出圧力を変化させたときの流量および電流を測定する。図 6 に試験のブロック図を示す。試験は直流電源電圧 $V_{DC}=22 \text{ V}, 24 \text{ V}, 26 \text{ V}, 27 \text{ V}, 28 \text{ V}$ の場合についてそれぞれ実施した。

【試験結果】 結果を図 7 に示す。計画性能に対して流量が 2.85 gpm （吐出圧力約 995 lb/in^2 ，入力電圧 28 V.D.C ）と約 0.05 gpm 少ないが、この程度の値ならば緊急時の油圧系統の機能特性として十分である。

3.5 アキュムレータの耐圧漏洩試験

【試験方法】 アキュムレータ 窒素封入口より 17.5 kg/cm^2 の窒素ガス圧をかけておき、まず油孔より 105 kg/cm^2 の油圧を 5 分間加えた後、油洩れ、永久変形等がないかを検査し、つぎに供給圧 70 kg/cm^2 を 3 分間加えた後、内部および外部洩れがないかを検査する。

作動油は MIL-H-5606 を使用した。

また窒素封入口より 20 kg/cm^2 の窒素ガス圧を 5

* この試験は、空気タービンのガバナー调速機構の特性試験でもあるが、空気タービンの変動は可変吐出量ポンプの入力に相当するので、この報告にも載せた。空気タービン試験については、文献 2 参照（現在文献委員会提出中）

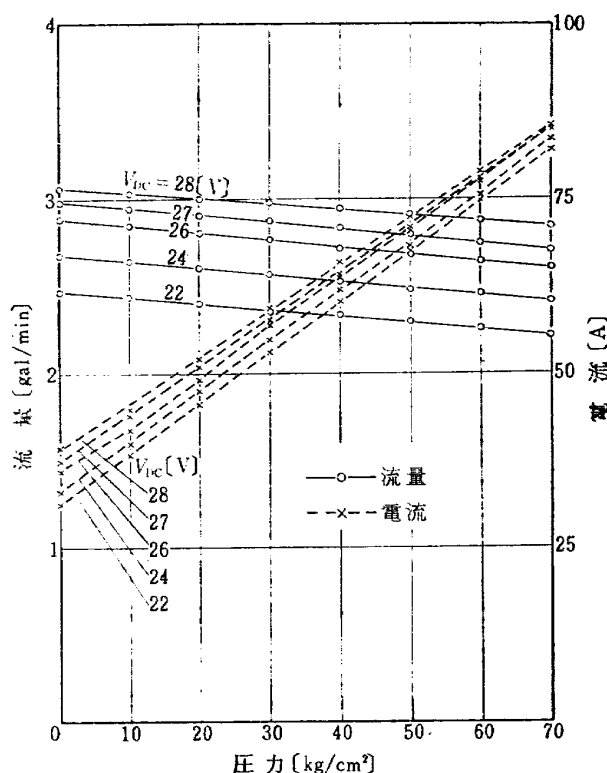


図 7 モータポンプ流量特性

分間加圧後、窒素洩れのないことを確認する。ただしこの場合の油孔は開放にする。

【試験結果】 耐圧試験、油洩れ試験および窒素洩れ試験の結果、所定の圧力条件において油洩れあるいは窒素洩れがなく、また各部に変形も見られず仕様条件を満足した。

3.6 リザーバコンペンセータ耐圧作動試験

【試験方法】 サプライ側を 105 kg/cm^2 ，リターン側を 6 kg/cm^2 に加圧し、各部分における洩れを観察する。

サプライ側を $70 \pm 10 \text{ kg/cm}^2$ ，リターン側を 2 kg/cm^2 に加圧し、ピストンを 100 回往復運動させる。そして各部からの油洩れのないことを観察する。

【試験結果】 耐圧試験および作動試験の結果、所定の圧力および作動条件において、シール部分その他の油洩れ、永久変形もなく、作動にも差支えなく仕様条件を満足した。

3.7 マニホールド耐圧試験

【試験方法】 サプライマニホールド口とリターンマニホールド口を除く各ポートに盲栓を施しておき、まずサプライマニホールド口より 105 kg/cm^2 の圧力をかけ、如何なる部分にも永久変形や油洩れのないことを確認する。

つぎにリターンマニホールド口より 10 kg/cm^2 の圧力をかけ、サプライ側と同様の確認を行う。

【試験結果】 耐圧試験の結果、如何なる部分にも永久変形や油洩れがなかった。

3.8 サーボアクチュエータ耐圧機能試験

【試験方法】 耐圧試験はピストンの両側に交互に 105 kg/cm^2 の圧力を加えたとき、また圧力 70 kg/cm^2 でピストンをフルストローク 100 往復運動させたときに如何なる油洩れ、永久変形のないことを観察する。

ストローク試験は、アクチュエータのサーボバルブの入力信号電圧を徐々に上げ、アクチュエータの最大変位をノギスにて測定する。

分解能試験は、入力電圧を徐々に加え、アクチュエータのロッドが動き出す瞬間の電圧とその変位量をダイヤルゲージで測定し、この測定値がそれぞれ最大入力電圧 10V（理論値）と最大変位量 70 mm（理論値）の何パーセントに相当するかを求め、その大きい方を分解能とした。

【試験結果】 耐圧試験の結果、異常のないことが確認された。

ストロークおよび分解能試験の結果、ストローク、分解能とも計画性能値を満足していることがわかった。その結果を表 5 に示す。緊急時の空気タービン取入口の開閉*に使用予定のアクチュエータ（番号 No. 3）については、耐圧試験のみ実施し、この試験および 3.9、3.10 の特性試験は実施しなかった。

3.9 サーボアクチュエータ静特性試験

【試験方法】 サーボアクチュエータのサーボバルブの入力電圧を $0\text{V} \rightarrow 10\text{V} \rightarrow 0\text{V} \rightarrow -10\text{V} \rightarrow 0\text{V}$ の順に変化させてアクチュエータをフルストロークの 1 往復させたとき、その入力電圧の変化に対するアクチュエータの変位を測定する。この測定値結果から直線性とヒステリシスを求める。

【試験結果】 直線性およびヒステリシスの求めた一例を図 8 に、測定結果を表 6 に示す。表 6 に示されるようにヒステリシスはその計画値を満足しているが、直線性はかなり計画値を越えるものがある。しかし、FTB ではこの直線性の 1% という計画値を若干越えても実用上差支えないことと、系統全体試験で再び同じ試験を行ない特性を再確認することを考え、本試験の結果については条件付で合格とした。

3.10 サーボアクチュエータ動特性試験

【試験方法】 低周波発振器より正弦波入力をサーボ

表 5 サーボ・アクチュエータのストロークおよび分解能

サーボ・アクチュエータ番号	全ストローク (mm)	分 解 能	
		入力 (V) \rightarrow 変位 (mm)	%以内
1	71.05	$\frac{10}{1000} \rightarrow \frac{1}{100}$	0.1
2	70.60	$\frac{5}{1000} \rightarrow \frac{2}{100}$	0.05
3	エアタービン緊急停止用として用いたので特性試験を行なわなかった。		
4	70.80	$\frac{6}{1000} \rightarrow \frac{1}{100}$	0.06
5	70.05	$\frac{10}{1000} \rightarrow \frac{2}{100}$	0.1
6	70.55	$\frac{5}{1000} \rightarrow \frac{1}{100}$	0.05
7	70.55	$\frac{10}{1000} \rightarrow \frac{2}{100}$	0.1
8	70.85	$\frac{20}{1000} \rightarrow \frac{6}{100}$	0.1
9	70.45	$\frac{15}{1000} \rightarrow \frac{5}{100}$	0.1
10	70.60	$\frac{5}{1000} \rightarrow \frac{1}{100}$	0.05

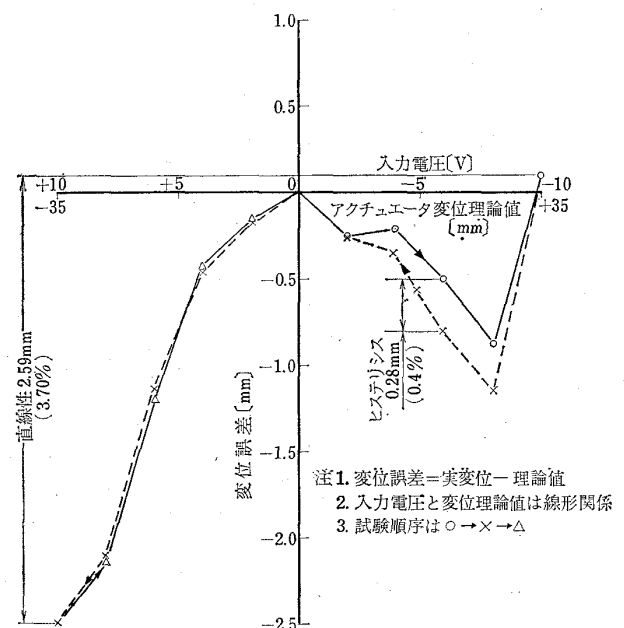


図 8 サーボアクチュエータ静特性測定例 (番号 No.)

* 後の空気タービン試験で、この型式のアクチュエータは不適と判かり、オン、オフ動作の油圧シリンダに変更した。

表 6 単体試験におけるサーボ・アクチュエータ静特性試験結果

サーボアクチュエータ 番号	静 特 性			
	直 線 性		ヒステリシス	
	変位誤差 (mm)	%	幅 (mm)	%
No. 1	2.59	3.70	0.28	0.4
No. 2	1.60	2.28	0.17	0.24
No. 3	空気タービン緊急停止用として用いたので特性試験は行なわなかった。			
No. 4	2.53	3.62	0.16	0.23
No. 5	1.60	2.29	0.22	0.32
No. 6	2.96	4.23	0.15	0.22
No. 7	2.50	3.57	0.22	0.32
No. 8	2.03	2.90	0.18	0.26
No. 9	2.25	3.22	0.29	0.42
No. 10	1.79	2.56	0.48	0.69

バルブに与え、その周波数を変えたとき各周波数における入出力の振幅比および位相遅れを同時に測定する。即ちアクチュエータの周波数特性（ゲインと位相遅れ）を求める。試験は入力電圧 $3.5\text{ V}_{\text{rms}}$ （アクチュエータ振幅 $\pm 17.5\text{ mm}$ ）と $0.4\text{ V}_{\text{rms}}$ （アクチュエータ振幅 $\pm 1.98\text{ mm}$ ）の場合について行なった。

また、アクチュエータ振幅が全振幅 $\pm 35\text{ mm}$ （入力電圧 10 V_{rms} ）で、最低 2 Hz 以上の作動が可能であることを確認する。負荷は操縦系統の等価質量相当の荷重をアクチュエータのロッドにかけた。

【試験結果】 サーボアクチュエータの周波数特性

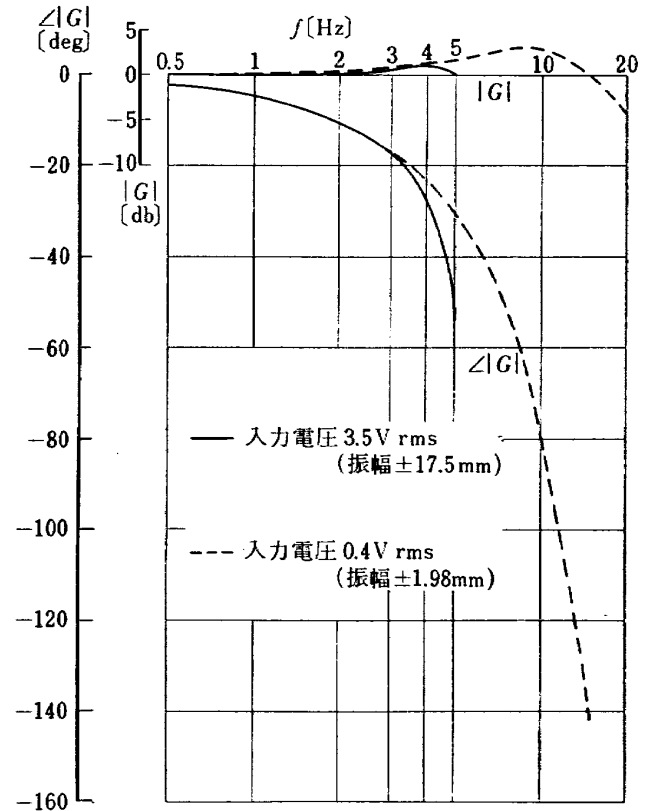


図 9 サーボアクチュエータ周波数特性の一例
(番号 No. 1)

は、計画性能（表 2）の動的応答性の性能値に対して十分なる余裕をもって満足した。その測定結果の一例を図 9 に示す。

また図 10 の測定結果の入力周波数 2 Hz のときの入出力の振幅を検討すると、ゲインが低下していない。また出力波形にも異常がなく、従って全振幅

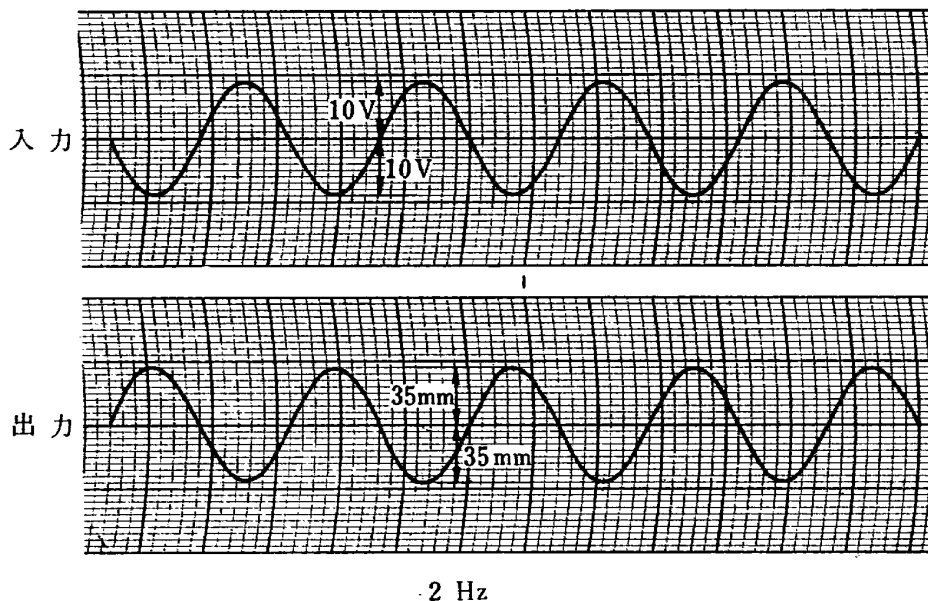


図 10 サーボアクチュエータ入力 10 V_{rms} ($\pm 35\text{ mm}$) 2 Hz 時の応答例

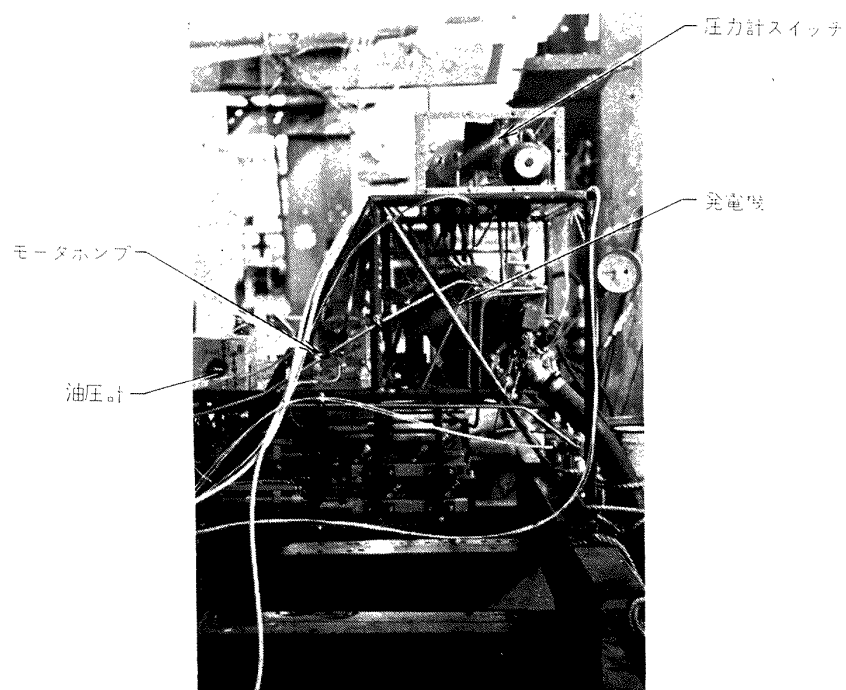
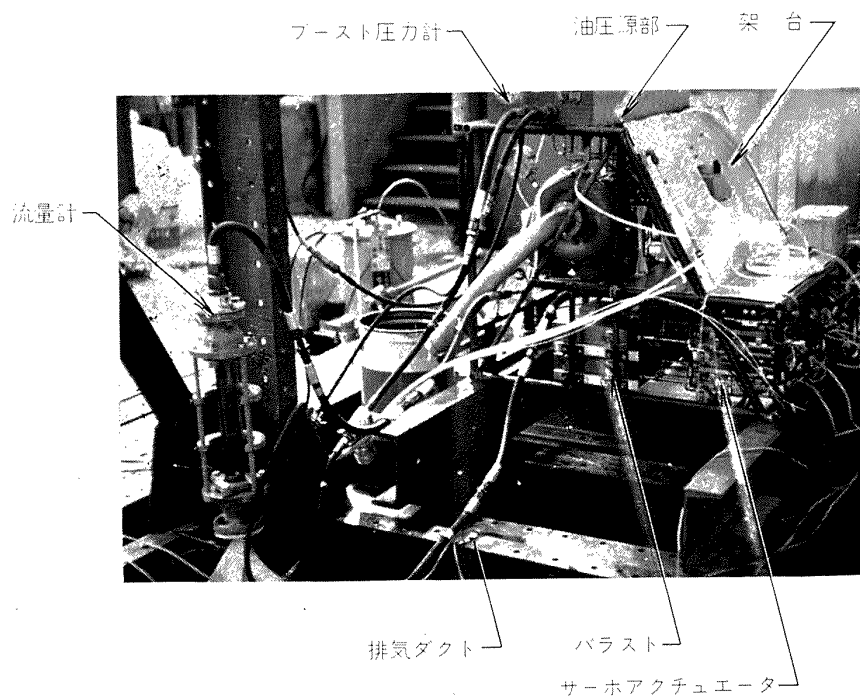


図 11 油圧系統全体試験装置

(±35 mm) で、最低 2 Hz 以上の作動可能なることが確認された。

4. 全体試験

この試験は、単体試験後 FTB 用油圧系統を組立てて治具に取付け、FTB に搭載した状態と同じ状態にて油圧系統全体の作動、機能、特性を確認するために行った試験である。試験は、外部漏洩試験、作動試験、緊急系統試験、静特性および動特性試験について行なった。この試験は、42年3月、富士重工業株式会社、宇都宮製作所で実施された。

全体試験装置を図 11 に示す。

4.1 外部漏洩試験

【試験方法】 この試験は耐圧試験と同じもので、油圧系統のプレッシャラインに 70 kg/cm² (約 990 lb/in²)、リターンラインに 4.5 kg/cm² (約 64 lb/in²) を 5 分間かけた後、系統および機器の外部漏洩、永久歪等、油圧系統の異常の有無を確認する。

【試験結果】 油圧系統に外部漏洩、永久歪等もなく異常はなかった。

4.2 作動試験

【試験方法】 空気タービンに送気し、タービンによって可変吐出量ポンプおよび発電機を運転する。そしてサーボバルブに入力信号を加え、サーボアクチュエータを動かす (図 13 参照)。この時油圧系統および関連機器の作動に異常が無いことを点検確認する。

点検確認項目

- 1) 空気タービンの作動
- 2) 発電機の作動
- 3) 可変吐出量ポンプの作動
- 4) リザーバコンベンセータの作動
- 5) サーボアクチュエータの作動
- 6) この他、油圧系統の外部漏洩、欠陥等の有無

【試験結果】 点検確認項目に対する結果は以下の通りで、全てに異常のないことが確認された。

点検結果

- 1) 発電機軸で 8,750 rpm, 正常
- 2) 電圧 28.5V, 正常
- 3) 吐出圧力 70 kg/cm²
可変吐出量ポンプ回転数, 正常

表 7 緊急系統試験結果

CASE No.	系 統	作動アクチュエータ		発電機 負 荷 (%)	アキュム レータ室素 の有無	空気入口圧 (lb/in ²)	油圧 (lb/in ²)	
		本 数	サイクル (Hz)				切 換 前	切 換 後
1	ハ イ ト	2	2	0	有	57	815	880
2	ハ イ ト	2	2	100	有	43	805	875
3	ハ イ ト	2	2	100	有	52	805	880
4	ハイト・ヨー	4	3	100	無	56	960	700
5	ハイト・ヨー	4	2	100	無	63	980	820
6	ハイト・ヨー	4	2	100	無	67	985	895

CASE No.	流量 (l/min)		プ ー ス ト 圧 (kg/cm ²)		切 換 時 間 ($t_4=t_1+t_2$)			回復時間	総所要時間
	切 換 前	切 換 後	切 換 前	切 換 後	$t_1(s)^{1)}$	$t_2(s)^{2)}$	$t_4(s)^{3)}$	$t_3(s)^{4)}$	$t_5(s)^{5)}$
1	4.00	4.25	2.45	2.80	2.1	0	2.1	1.1	3.2
2	4.00	4.45	2.45	2.80	4.2	0	4.2	1.0	5.2
3	4.00	4.25	2.30	2.70	3.5	0	3.5	0.8	4.3
4	9.70	7.60	2.30	2.70	1.0	5.0	6.0	∞ ⁶⁾	∞
5	6.70	6.70	2.45	2.45	1.2	2.3	3.5	2.5	6.0
6	6.25	6.35	2.45	2.45	1.4	3.4	4.8	5.7	10.5

- 1) t_1 は空気タービン閉からモータポンプが初めて作動するまでの時間 (図 12 参照)
- 2) t_2 はモータポンプが初めて作動してからモータポンプに完全に切り換わる迄の時間 (図 12 (b), (c) 参照)
- 3) t_3 はモータポンプに切り換ってから油圧が回復する迄の時間 (図 12 (a) (c) 参照)
- 4) $t_4=t_1+t_2$ (切換時間)
- 5) $t_5=t_1+t_2+t_3$ (総所要時間)
- 6) 負荷の要求油量がモータポンプの能力を越えるため、圧力回復せず

- 4) 正常
- 5) 良好
- 6) ブースト圧 2.3 kg/cm^2 , 全てに異常なし

4.3 緊急系統試験

〔試験方法〕 正常系統の可変吐出量ポンプからの油圧が空気タービンまたは油圧ポンプ自体などの故障で低下したとき、プレッシャスイッチ (図 1 参照) が作動し、自動的に緊急系統のモータポンプがバッテリーによって駆動される。そこでこの試験では、空気タービンに送気し油圧系統その他が正常に作動していると

き、空気タービン入口のバルブを閉め、空気タービンの運転を停止させ、このときのモータポンプへの切換状態およびモータポンプによる作動を測定確認する (図 13 参照)。この試験はアキュムレータに窒素が、(i) 充填されているとき、(ii) 充填されていないときの場合について行なう。試験は空気タービン・可変吐出量ポンプ・発電機系の代表的な負荷状態として 6 ケースを選んで行なった。油圧系の負荷としては FTB 飛行時の作動状態を考慮して、アクチュエータ 2~4 本が 2~3 サイクルで作動している場合を代表

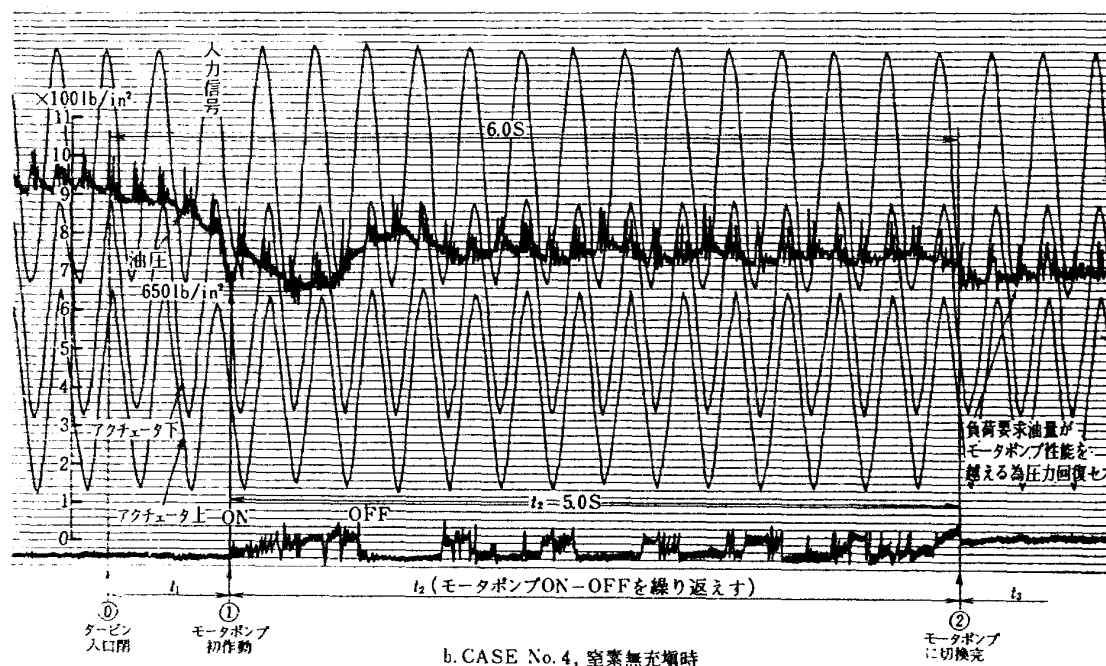
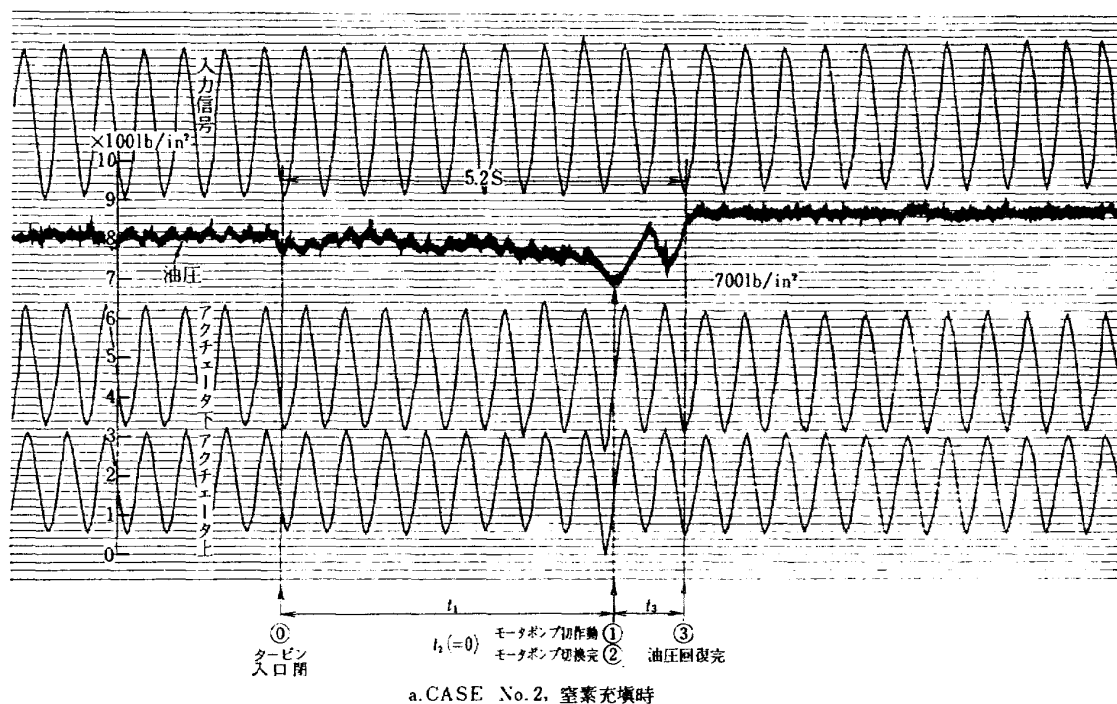
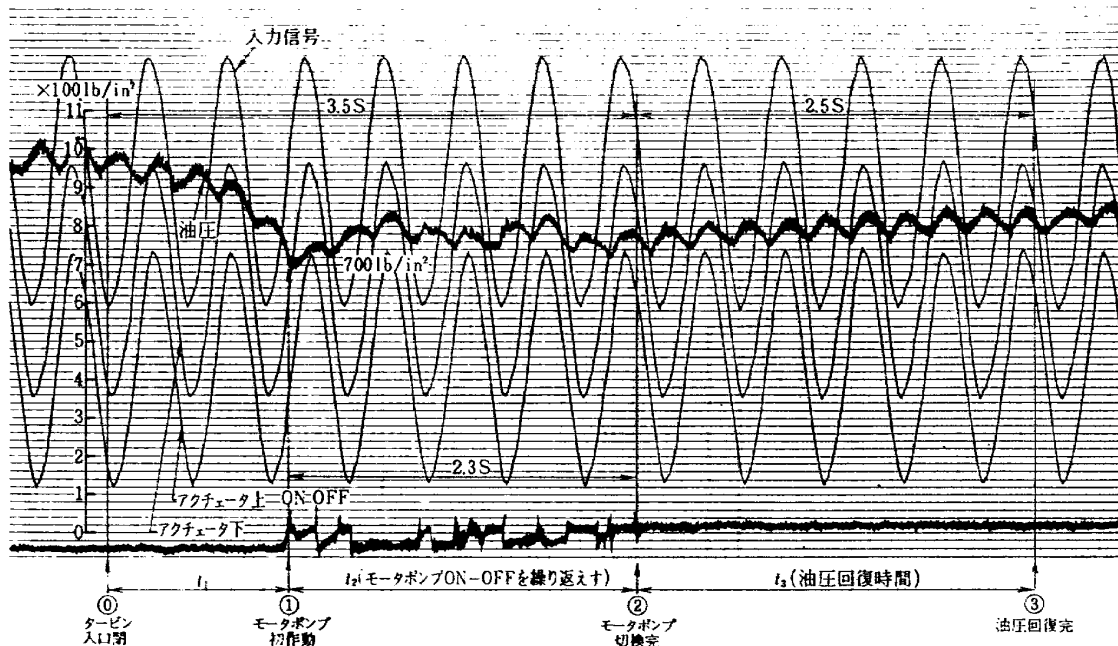


図 12 緊急系統試験測定例



c. CASE No. 5, 窒素無充填時

図 12 つづき

的な負荷と定めた。その試験内容は結果と共に表 7 に示した。

【試験結果】 試験結果を表 7 に、測定記録例を図 12(a), (b), (c) に示す。この試験により次の事が明らかとなった。

1) アクチュレータの窒素充填の有無に拘らず、モータポンプに切換わる（表 7 および図 12(a), (c)）。しかし、負荷の要求油量がモータポンプの能力を越えるときは、モータポンプに切換った後も、油圧が完全に回復しない。図 12(b) はこの例である。

2) 窒素充填の有無は、アクチュレータ機能の有無を意味し、切換時の特性に大きく影響する。即ち窒素無充填時は充填時に比べ、脈動が大きく、主油圧ポンプ故障後の圧力低下が早い。また、モータポンプが一度作動しても油圧上昇がにぶく脈動が大きいので、油圧がプレッシャスイッチの作動圧付近を上下し、完全にモータポンプに切換わる迄にスイッチが接断を数秒間繰返し、さらにその後の油圧回復にも長い時間(数秒間)を要する（図 12(c)）。

4.4 静特性試験

【試験方法】 3. サーボアクチュエータ静特性試験と同じ要領で行なう。

【試験結果】 この試験は、主要構成部品単体試験におけるアクチュエータの試験のそれと同じである。この試験における値（表 8）と単体試験における直線性の値（表 6）との差異約 $\pm 1\%$ は測定誤差と推定される。測定値の中には、この誤差を考慮しても計画値

表 8 全体試験における静特性

サーボ・アクチュエータ番号	直 線 性	
	最大 (mm)	%
No. 1	3.35	4.79
No. 2	2.36	3.47
No. 3	(空気タービンの緊急停止用に使用したので試験せず)	
No. 4	2.33	3.18
No. 5	1.14	1.63
No. 6	(単体試験で性能が最も悪かったの)で除外した	
No. 7	1.77	2.53
No. 8	1.82	2.60
No. 9	2.54	3.63
No. 10	1.10	1.57

(1% 以下) を越えるものがあるが、FTB ではこの計画値 1% を若干越えても実用上差支えないので、使用に当っては特に直線性を要求する高度制御系（エンジン制御系）等から直線性の良好なものを順次当てることにした。

4.5 動特性試験

【試験方法】 低周波発振器より正弦波電圧をサーボバルブに与え、入出力の振幅比および位相遅れを同時に測定する。油圧は空気タービンを回転し、可変吐出量ポンプにてかける。図 13 に試験のブロック図を示す。図中のサーボアクチュエータ部電気回路は本試験用の

表 9 動特性試験内容

CASE No.	系 統	負荷アクチュエータ本数	発電機負荷	入力信号の振幅
1	ヨ ー	2	50	±17.5 mm
2	ヨ ー	2	100	〃
3	ハイト	2	50	〃
4	ハイト	2	100	〃
5	ピッチ	2	50	〃
6	ピッチ	2	100	〃
7	ロール	2	50	〃
8	ロール	2	100	〃
9	ハイト ヨ ー	4	50	〃
10	ハイト ヨ ー	4	100	〃
11	ハイト ヨ ー ピッチ	6	100	〃

(注) 入力信号は正弦波である

ものであり、実機用*とは異なるが機能的には同じ回路である。試験内容は表9に示す。

動特性の計画性能は、2系統のサーボアクチュエータ(4本)を振幅 ±17.5 mm の正弦波入力(フルストロークの 1/2) で同時に作動させたとき、90 度位相遅れ点の周波数が 4 Hz 以上であり、3 系統のサーボアクチュエータ(6本)の場合には 2 Hz 以上であることである。

【試験結果】 試験結果を表 10 に、測定結果の一例を図 14(a), (b) に示す。これらの結果からも明らかのように、2 系統のサーボアクチュエータを振幅 ±17.5 mm の正弦波入力信号で作動させたとき、その周波数が 4 Hz のときの位相遅れは約 35~40 度でゲインの低下もなかった(図 14(a))。また 3 系統の場合は、位相遅れは約 14 度でゲインの低下零である(図 14(b))。この結果、計画性能値に対して十分余裕のあることを示しており、本油圧系統が FTB の油圧系統の機能特性を十分満足することが判った。

表 10 動 特 性 試 験 結 果

CASE No.	系 統	負荷アクチュエータ本数	発電機負荷 (%)	空気入口圧 (lb/in ²)	サイクル (Hz)	油圧 (lb/in ²)	流量 (l/min)	ブースト圧 (kg/cm ²)	入力振幅 (m/m)	アクチュエータ出力全振幅		利 得		位 相 角	
										上 (m/m)	下 (m/m)	上 (db)	下 (db)	-o- 上	-o- 下
1	ヨ ー	2	50	67.5	0.5	990	1.95	2.30	±17.5	35.0	35.0	0	0	-4	-2
				65.5	1	1,005	2.20	2.40		35.0	35.0	0	0	-4	-2
				67.0	2	1,000	3.10	2.43		35.4	35.6	0.12	0.14	-14	-10
				67.5	3	990	3.80	2.40		35.5	35.6	0.13	0.15	-18	-13
				66.0	4	975	4.50	2.40		33.0	34.3	-0.50	-0.16	-41	-32
				67.0	5	980	4.90	2.40		29.0	31.1	-1.64	-1.04	-54	-43
				63.0	6	970	4.90	2.40		24.4	25.4	-3.12	-2.76	-76	-59
2	ヨ ー	2	100	57.0	0.5	1,000	2.00	2.25	±17.5	35.0	35.0	0	0	-2	-1
				54.5	1	990	2.50	2.45		35.0	35.0	0	0	-5	-3
				53.5	2	990	3.10	2.45		35.3	35.4	0.08	0.09	-13	-9
				52.5	3	995	4.00	2.45		34.6	35.3	-0.10	0.06	-39	-23
				52.5	4	985	4.10	2.40		33.0	34.2	-0.50	-0.18	-55	-32
				51.5	5	1,000	4.90	2.50		30.8	31.5	-1.10	-0.92	-60	-47
				52.0	6	990	4.90	2.55		25.0	28.0	-2.92	-1.94	-74	-53
				53.0	7	990	4.90	2.40		21.3	23.8	-4.32	-3.54	-83	-70

(注1) 表欄中アクチュエータ出力全振幅の上、下とは正常系統アクチュエータと緊急系統アクチュエータを意味する。

(注2) 負荷アクチュエータ本数が4本と6本の場合のアクチュエータ出力全振幅の測定値は、ハイト系アクチュエータの2本(正常系統と緊急系統)のものである。

* 実機用回路では、サーボアクチュエータが ASE の一要素でもあり、ASE の他の要素と結びついた回路構成である(文献 1, 付録G参照)。これについては ASE 試験として別に報告される。(文献 3, 4 現在執筆中)

表 10 つ づ き

CASE No.	系統	負荷 クチュ エータ 本数	発電機 負荷 (%)	空気入 口圧 (lb/in ²)	サイク ル (Hz)	油圧 (lb/in ²)	流量 (l/min)	プース ト圧 (kg/cm ²)	入力 振幅 (m/m)	アクチュエ ータ出力全 振幅		利 得		位 相 角	
										上 (m/m)	下 (m/m)	上 (db)	下 (db)	上 -o- 下	上 -o- 下
3	ハイト	2	50	65.5	0.5	1,045	2.20	2.38		35.0	35.0	0	0	-4	-2
				52.0	1	1,030	2.65	2.43		35.0	35.0	0	0	-7	-4
				41.5	2	1,040	3.55	2.45		35.2	35.1	0.05	0.03	-12.5	-8
				35.5	3	1,035	4.45	2.50		35.6	35.1	0.15	0.03	-25	-13
				28.5	4	1,030	4.90	2.40		34.0	35.1	-0.26	0.02	27	23
				21.0	5	1,040	5.35	2.50	±17.5	31.1	32.2	-1.02	-0.72	35	35
				15.5	6	1,035	5.35	2.60		30.6	32.3	-1.16	-0.70	63	45
				8.5	7	1,030	5.35	2.55		23.7	24.2	-3.38	-3.20	80	60
				64.0	8	975	5.70	2.40		21.8	22.8	-4.12	-3.74	83	69
				61.5	9	1,000	5.35	2.50		16.5	17.4	-6.56	-6.16	90	72
4	ハイト	2	100	61.0	0.5	960	2.10	2.55		35.0	35.0	0	0	5	3
				59.0	1	1,005	2.50	2.45		35.0	35.0	0	0	6	4
				57.5	2	1,005	3.30	2.50		35.7	35.2	0.07	0.04	12	8.7
				57.0	3	1,000	3.65	2.45	±17.5	36.2	36.1	0.30	0.26	20	15
				58.0	4	1,000	4.30	2.50		34.7	34.8	-0.08	-0.04	28	18
				57.0	5	1,000	5.10	2.45		31.4	32.3	-0.94	-0.70	63	50
				55.5	6	1,000	5.35	2.45		27.6	31.2	-2.06	-1.00	75	63
5	ピッチ	2	50	62.5	0.5	995	2.00	2.4		35.0	35.0	0	0	4	2
				62.5	1	980	2.35	2.43		35.0	35.0	0	0	4	2
				62.0	2	980	3.10	2.45		36.7	35.5	0.40	0.12	13	9
				61.5	3	980	3.75	2.50	±17.5	36.0	36.1	0.24	0.27	13	10
				61.0	4	1,000	4.30	2.45		35.0	36.0	-0.02	0.25	28	21
				59.5	5	980	4.90	2.50		32.6	34.4	-0.62	-0.14	43	38
				60.5	6	980	5.20	2.60		23.9	30.2	-1.66	-1.26	63	53
6	ピッチ	2	50	58.5	0.5	995	2.20	2.40		35.0	35.0	0	0	2	1
				57.5	1	980	2.60	2.40		35.0	35.0	0	0	4	2
				55.5	2	980	3.10	2.45		34.5	34.7	-0.14	0.05	9	5
				54.5	3	980	4.00	2.50	±17.5	34.9	35.3	-0.02	0.08	15	8
				52.5	4	1,000	4.70	2.45		34.5	35.1	-0.12	-0.10	28	21
				51.5	5	980	4.90	2.50		33.2	31.6	-0.44	-0.88	45	36
				50.5	6	980	5.35	2.50		28.3	28.4	-1.86	-1.90	63	53
7	ロール	2	100	65.5	0.5	1,000	2.10	2.45		35.0	35.0	0	0	2	1
				60.0	1	1,005	2.55	2.45		35.0	35.0	0	0	3	2
				64.5	2	1,015	3.10	2.50		35.6	35.2	0.14	0.04	11	7
				63.5	3	1,000	4.05	2.50	±17.5	35.5	35.5	0.13	0.36	31	18
				63.5	4	1,010	4.60	2.50		33.5	33.5	-0.38	0.13	41	27
				62.5	5	1,005	5.00	2.50		29.4	32.7	-1.52	-0.60	63	45
				62.5	6	1,020	5.10	2.60		26.9	28.6	-2.28	-1.76	70	47

表 10 つ づ き

CASE No.	系統	負荷アクチュエータ本数	発電機負荷(%)	空気圧 (lb/in ²)	サイクル (Hz)	油圧 (lb/in ²)	流量 (l/min)	ブースト圧 (kg/cm ²)	入力振幅 (m/m)	アクチュエータ出力全振幅		利 得		位 的 角	
										上 (m/m)	下 (m/m)	上 (db)	下 (db)	上 -o- 上	下 -o- 下
8	ロール	2	100	62.5	0.5	995	2.05	2.43	±17.5	35.0	35.0	0	0	2	1
				61.5	1	985	2.45	2.43		35.0	35.0	0	0	5	3
				60.5	2	985	3.15	2.45		34.8	35.2	-0.02	0.05	9	4
				60.5	3	980	3.50	2.45		34.1	35.3	-0.22	0.08	26	23
				59.0	4	980	4.60	2.50		32.9	34.6	-0.54	-0.01	37	28
				57.5	5	990	4.90	2.45		31.3	31.6	-0.98	-0.88	65	27
				56.5	6	980	4.90	2.55		24.9	28.1	-2.92	-1.90	63	48
9	ハイト ヨー	4	50	64.5	0.5	1,000	2.35	2.45	±17.5	35.0	35.0	0	0	2	1
				62.0	1	1,000	3.30	2.50		35.0	35.0	0	0	5	3
				65.0	2	980	4.85	2.50		35.4	35.5	0.09	0.12	18	11
				64.0	3	970	6.35	2.55		35.0	35.8	0.01	0.20	26	19
				63.0	4	965	8.00	2.70		34.7	34.3	-0.08	-0.16	43	29
				62.5	5	965	9.40	2.80		28.0	30.9	-1.95	-1.01	60	49
10	ハイト ヨー	4	100	62.5	0.5	1,000	2.20	2.45	±17.5	35.0	35.0	0	0	4	2
				61.5	1	995	3.15	2.50		35.0	35.0	0	0	7	3
				60.0	2	985	4.10	2.55		35.5	36.2	0.13	0.29	14	9
				58.0	3	960	6.35	2.65		34.8	36.0	-0.04	0.24	24	16
				57.0	4	955	7.90	2.75		33.5	34.4	-0.38	-0.14	44	35
				56.5	5	960	9.25	2.75		29.9	33.3	-1.38	-0.44	62	54
11	ハイト ヨー ピッチ	6	100	63.5	0.5	985	2.20	2.45	±17.5	35.0	35.0	0	0	2	1
				60.5	1	990	3.55	2.55		35.0	35.0	0	0	7	4
				59.0	2	960	5.70	2.55		35.5	35.5	0.14	0.14	13	14

ハイト系・ヨー系のアクチュエータ4本
発電機負荷 100%

ハイト系・ヨー系・ピッチ系のアクチュエータ6本
発電機負荷 100%

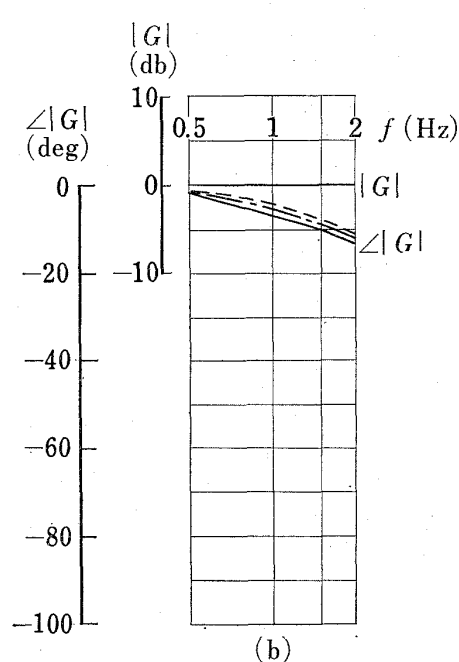
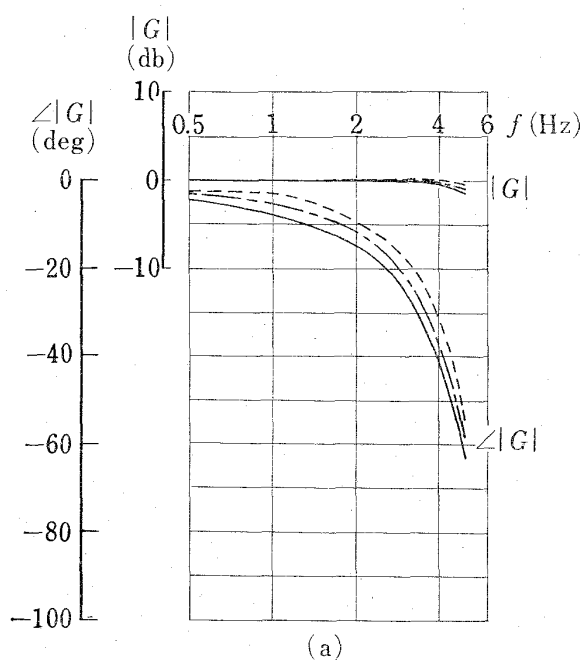


図 14 動特性の測定結果例

5. む す び

試験の結果は所期の計画性能を満足し、FTB の油圧系統として十分であることが確認された。

本試験の実施に当っては、富士重工業(株)、航空機技術本部および航空機工場、三菱重工業(株)、村田英五郎発動機部次長の方々の御援助、御指導を賜わり、ここに深甚なる謝意を表する。

文 献

- 1) 新型航空機部；フライングテストベッドの計画，航技研報告 TR-154(1968/5)
- 2) 宮本義人外 3 名；フライングテストベッド空気タービン試験，航技研資料 TM(未刊)
- 3) 小川敏雄外 3 名；フライングテストベッド自動安定装置性能試験 (I)，航技研資料 TM-217 (1972/7)
- 4) 小川敏雄外 3 名；フライングテストベッド自動安定装置性能試験 (II)，航技研資料 TM-218 (1972/7)
- 5) Hydraulic systems; Aircraft, Type 1 and Type 2, Design Installation and Data Requirements for, MIL-H-5440 D, (1963/5)
- 6) Cylinders, Aeronautical, Hydraulic Actuating, General Requirement for, MIL-C-5503 C(2), (1965/5)

TM-216	安定板を有する固体ロケットの操舵要求 軽減法	1972年2月	大石晃, 山中龍夫 冠昭夫
TM-217	フライングテストベッド自動安定装置性 能試験 (I) —製作時性能試験—	1972年7月	小川敏雄, 甲斐忠夫 十河弘, 増原恢
TM-218	フライングテストベッド自動安定装置性 能試験 (II) —実験前性能試験—	1972年7月	小川敏雄, 甲斐忠夫 十河弘, 増原恢
TM-219	フライングテストベッド脚性能試験	1972年5月	渋谷昭義, 川崎純男
TM-220	フライングテストベッドテレメータ性能 試験	1972年5月	小野幸一, 十河弘 池上博
TM-221	ロケット模型の動安定微係数の測定	1972年5月	谷喬, 高島一明 関根英夫, 中村正剛
TM-223	自由飛行模型 FFM-10 の強度について	1972年5月	河崎俊夫, 斎藤秀夫 堀武敏, 多田保夫 林洋一, 戸田慎一 日下恒夫, 越中一 築地, 中井 森田, 菊地 高甫, 之孝 高美, 東久保 正年

注：欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料224号

昭和47年5月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
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
