

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-113

リフトジェットエンジン試験設備 (II)

— 計 測 設 備 —

森田光男・岩部柱相

関根静雄・武田克己

1967年9月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

| | | | |
|-------|--|----------|---------------------------------------|
| TM-69 | 質量分析計による水蒸気を含む試料のガス分析 | 1965年12月 | 齋藤 隆, 堀内正司 中村 浩子 |
| TM-71 | 可動アイアンバードの構造および機能 | 1965年12月 | 機体第一部, 計測部 原動機部 |
| TM-72 | 地上付近の風の影響による小型ロケットの姿勢角変化 | 1965年12月 | 戸川 隼人, 石黒登美子 |
| TM-73 | 固定端を有する薄肉円筒殻の自由振動について | 1966年1月 | 田寺木 一, 泉 日出夫 |
| TM-74 | 回転振動試験装置の計画, 構造および特性 | 1966年2月 | 武内 澄夫, 宮地敏雄 星谷 昌二 |
| TM-75 | 高マッハ数風洞の消音装置について | 1966年2月 | 牛田 健二, 清水福寿 吉永 崇 |
| TM-76 | コーティングの断熱効果のアナログシミュレーション | 1966年2月 | 小川 鉦一 |
| TM-77 | テレメータ電波の偏波面の回転を利用したロケットのスピン測定について | 1966年3月 | 田畑 浄治, 桜井善雄 三浦 雅男 |
| TM-78 | 昇降舵の操舵力特性に関するシミュレータ解析 | 1966年3月 | 堀川 勇壮, 森 幹彦 中野 佳直 |
| TM-79 | テレメータ機上装置の小型化の研究 | 1966年3月 | 新田 慶治 |
| TM-80 | 安定制御のための一計算法 | 1966年3月 | 檜 崎 哲二 |
| TM-81 | 吹出式超音速風洞の起動時および停止時における過負荷防止装置 | 1966年3月 | 石原 久蔵, 齋藤 秀夫 外立 政隆, 榊原 盛三 宗美 均 |
| TM-82 | ピトー管による境界層速度分布測定について | 1966年4月 | 長洲 秀夫, 柏原登喜子 |
| TM-83 | ジェットリフトエンジン空気取入口の実験(II) | 1966年4月 | 近藤 博, 増田 惣平 |
| TM-84 | 二段ロケットの低速風洞試験 | 1966年7月 | 毛利 浩, 田村 敦宏 佐野 四郎, 能村 実 |
| TM-85 | 航空機の滑走路走行時の振動に関する実験的研究 | 1966年8月 | 小野 幸一 |
| TM-87 | 極小型超音速機用姿勢制御装置の特性解析 | 1966年8月 | 池谷 光栄, 畑山 茂樹 |
| TM-88 | プロペラ後流偏向型 STOL 機の風洞試験(I) | 1966年9月 | 犬丸 矩夫, 岡部祐二郎 北村 清美, 川幡 長勝 木村 友昭 |
| TM-89 | 有孔板の振動について | 1966年9月 | 川井 忠彦, 泉 日出夫 |
| TM-90 | 地上付近の横風の影響による小型ロケットの方位角変化 | 1966年9月 | 戸川 隼人, 石黒登美子 |
| TM-91 | 高速タービン翼列二次元試験 | 1966年10月 | 近藤 博, 蓑田 光弘 山崎 紀雄 |
| TM-92 | リフトジェットエンジン試験設備(I) 一台上運転設備一 | 1966年10月 | 大山 耕一, 吉田 晃昇 中山 晋, 菅原 昇 五味 光男 |
| TM-94 | J-3 ジェットエンジン用タービン動翼の固有振動特性 | 1966年10月 | 武内 澄夫, 宮地敏雄 星谷 昌二 |
| TM-95 | 超軽量潮流圧縮機動翼の固有振動特性 | 1966年11月 | 武内 澄夫, 宮地敏雄 星谷 昌二 |
| TM-96 | 2024-T4および7075-T6有孔平板の曲げ疲労試験と2024-T4平滑丸棒の軸荷重疲労試験 | 1966年11月 | 佐野 政明, 菰岡 一洋 |
| TM-97 | 高マッハ数風洞について(II) | 1967年1月 | 吉永 崇, 井上 建二 広田 正行, 楯 篤志 |
| TM-98 | 40kWプラズマ発生装置の諸特性 | 1967年1月 | 野村 茂昭, 相原 康彦 |

リフトジェットエンジン試験設備 (II)*

— 計測設備 —

森田光男**・岩部柱相**・関根静雄**・武田克己**

当航空宇宙技術研究所のリフトジェットエンジン計測設備について述べる。これは HIPAC 103 型デジタルコンピュータを主体とするオンラインデジタルデータ処理装置であって、圧力、温度、回転数、位置などを電氣量に変換しデジタルコンピュータによって計測および処理を行なっている。

エンジン性能の解析に要求される高精度な計測のために総合精度で圧力 0.2%、温度 0.3% 以内の変換器を用いた。

またエンジン回転数、推力、燃料流量、エンジン空気流量、圧縮機圧力比などエンジン特性値の計算、およびこれらの修正値の計算を実時間で行ない、結果を印字または表示できるものとした。

1. ま え が き

当所における V/STOL 機の研究の一環として、超軽量リフトジェットエンジンの試作研究が強力に進められ、その試作第 1 号機である JR 100 の運転試験に用いる計測設備を早急に整備する必要があった。

ジェットエンジンの試作研究においてはエンジン全体性能の確認、圧縮機、燃焼器、タービンなどジェットエンジンの主要構成要素の性能解析、計画性能との比較検討などのために高精度の計測が要求される。

また、リフトジェットエンジンは離着陸遷移飛行の際、短時間使用するもので、全運転時間に対して、起動→全負荷運転→停止のしめる割合が、通常の推進用ジェットエンジンに比べ大きく、エンジンの性能としては各回転数における静的な特性のみならず起動特性、加減速特性などの動特性もエンジン評価の上重要である。

さらに当所のジェットエンジン運転設備はエンジン排気をエゼクタで引いている¹⁾ ためにエンジン空気流量の変化によってエンジン入口圧力も変化し、また大気温度の変化なども考慮して計測値すべてを標準大気状態に修正したもので検討を行なう必要がある。

したがってこれらの特性を明らかにするためには多量のデータを正確かつ短時間に計測し処理することが望まれる。

これらの計測には磁気テープや電磁オシログラフに

よるアナログデータ処理方法と電子計算機によるデジタルデータ処理方法とに大別できる。

前者は動的かつ多量の現象量の連続的な記録に適する一方、データ入力チャンネルはせいぜい 12~24 までであり、精度も 2% 止りである。また記録後の処理に多大の時間と労力を費し最終結果を得るのに数日以上待たなければならない。

それに反し後者は動的な現象量の記録には不適當であるが、多種、多量のデータの迅速な処理が行なえる。

以上のような計測方法の特徴を考慮し、これらを併用してつぎのような構成を決定した。

(1) 起動、加減速特性など動特性の解析には磁気テープレコーダまたは電磁オシログラフによってデータを記録し、記録後処理を行なう。

(2) エンジン静特性の解析には、HIPAC 103 型電子計算機によって自動計測を行ない、性能計算を実時間で行なう。

(3) その他運転に必要な保安および監視計器は他に設ける。また水、水銀マンオメータによって補助計測を行なう。

これらの装置を新規に設置するには多くの費用と時間を必要とするであろうが、幸い原動機 5 号館に設置中であった原動機要素試験用計測設備を回路上少し改造して用いることにした。

この原動機要素試験用計測設備は圧縮機およびタービンの計測用に計画した設備でボタン一つで回転数、圧力、温度などを自動計測するデータ処理装置である。

* 昭和42年4月17日受付

** 原動機部

2. 計 測 点

エンジン全体性能およびエンジン各要素の性能解析に必要な特性値を得るための計測点はつぎの通りである。

| 区分 | 計 測 点 | 検 出 部 | 個数 |
|----------------|--------------------|---------------------|----|
| エンジン全体 | 推 力 (F) | ロードセル | 1 |
| | 回 転 数 (N) | パルス発信器 | 1 |
| | 入 口 温 度 (T) | 熱電対 | 1 |
| | 入 口 圧 力 (P1) | | 1 |
| | スロットル角度 (T/A) | | 1 |
| | 燃 料 流 量 (Wf) | タービンフロメータ | 1 |
| | 燃 料 圧 力 (Pf) | ストレンゲージ | 1 |
| 圧縮機 | 入口ピトー全圧 (P20) | 標準ピトー管 4点くし型ピトー管 | 1 |
| | 入口ピトー静圧 (P2S) | | 2 |
| | 出 口 温 度 (T3) | 4点くし型熱電対 | 1 |
| | 出 口 圧 力 (P3) | 4点くし型全圧管 | 1 |
| | 段 間 圧 力 (CWP) | ケーシング静圧孔 | 7 |
| 燃焼器 | 出 口 温 度 (T4) | 4点くし型熱電対 | 3 |
| | 出 口 圧 力 (P4) | 4点くし型全圧管 | 1 |
| タよト1びノビジズンエルおッ | タービン出口温度 (T5) | 4点くし型熱電対 | 4 |
| | タービン出口圧力 (P5) | 4点くし型全圧管 | 1 |
| 抽 気 | 抽気ノズル入口 圧力 (Pb1) | ノズル前静圧孔 | 2 |
| | 抽気ノズルスロート 圧力 (Pb2) | ノズルフロート静圧孔 | 2 |
| | 抽気ノズル入口 温度 (Tb) | 熱電対 | 2 |

エンジンおよび各計測点位置を図1に示す。図1において、 P 、 T はそれぞれ圧力、温度計の起電圧を示す。添字は計測点位置を示している。すなわち、最初の添字は検査断面、つぎが円周位置を示す。半径位置を示すさいには第三の添字をつける。

検査断面 1, 2, 3, 4, 5 はそれぞれエンジン入口、圧縮機入口、圧縮機出口、タービン入口、タービン出口を示し、 b は抽気を示している。円周位置はエンジンの中間トラニオンの位置を原点(0時)とし、ジェットノズル側から見て時計回りに 1, 2, 3, ... と名づけた。半径位置は内筒側より外筒側へ 1, 2, 3, 4 と名づけた。

4点くし型全圧管および温度計の4点計測位置はそれぞれ検査断面積に応じて面積等分で配分した。

ピトー管および全圧管の写真を図2～図3に示す。

また熱電対温度計の写真を図4に示す。

3. 設備の構成および機能

本計測設備は主データを計測し実時間データ処理を行なうデジタルデータ処理装置(データロガ)(第4章参照)、主データを補うための補助的な計測を行なう定常運転計測装置、起動特性、加減速特性などの動特性解析のためのデータ記録計としての動的現象記録装置および運転モニター用保安監視計器¹⁾によって構成している。

図5に本設備のブロック図を示す。

動的現象記録装置(以下記録計と言う)にはつぎのものをを用いた。

1. 13チャンネル磁気テープレコーダ
2. 12チャンネルフォトコーダ
3. X-Y レコーダ
4. 4チャンネルペン書オシログラフ

3.1 エンジン回転数計数装置

回転計は運転モニター用、精密設定用、デジタルデータ処理装置入力用の3系統からなっている。回転数の検出はエンジン前部に装着した60歯のパルス発信器である。

(1) デジタル回転計

エンジン回転数を希望する値に正確に設定するために用いるものである。10進5桁表示のデジタルカウンタで、オーバースピードによる危険防止のために、1回転単位で任意にセットできるオーバースピード外部制御信号を出す機能をそなえたものである。

(2) 指示回転計

運転モニター用で常時監視する必要があるデジタルカウンタのように間けつ表示するものは不適当なため、指示式にした。指示式にすることによって加減速の様子も知ることができる。本器はパルス信号を単位時間当りのパルス数に比例した電流値に変換しフルスケール 15,000 rpm のメータに精度±3%以下で指示する広角度の指示回転計である。またメータフルスケールで直流1mA(出力インピーダンス3~10Ω)の出力機能を持たせ記録計の入力としている。

図6に本器の試験結果を示す。

3.2 推力計測装置

本装置は精密推力計測装置および瞬時推力計測装置の2系統で構成している。

推力はエンジン評価の重要なポイントであるため高精度な計測が要求される。そのため推力検出部はワイヤストレンゲージを用いた交流入力4辺ブリッジおよ

び8枚のワイヤストレンゲージを用いた直流入力4辺ブリッジを共有にしたロードセルで前者の出力を精密推力計測装置に、後者の出力を瞬時推力計測装置に送っている。

(1) 精密推力計測装置

運転用モニタとしてまた定常運転計測用として用いるもので最大計測容量 2,000 kg および 1,000 kg 2段切換高精度の電子管式自動平衡指示計である。

ロードセルからの信号を増幅し、サーボモータを駆動して直径 250 mm, 200 分割の目盛板上に推力を指示するものである。

また分銅による較正を容易ならしめるため、レバー式較正装置を有するものとした。電気的な精度チェックのためにはチェックボタンによる定点チェック方式を取った。

本器のブロック図を図7に示す。

(2) 瞬時推力計測装置

推力 0~2,000 kg に対しロードセルの出力電圧 0~10 mV をキャリアフレンケンシ 10 kc の半導体チョップ変調方式による直流増幅器で増幅しデジタル処理装置および記録計の入力としている。

スパン調整および零点調整を正確にとることによって±0.2% 以内の精度を得ている。

本器のブロック図を図8に示す。

3.3 燃料流量計測装置

推力とならび燃料流量もエンジンの燃料消費率に直接関係し、そのため高精度の計測が要求される。燃料流量は燃料配管系に設けたタービンフロメータで計測し、この出力を増幅器で増幅し指示燃料流量計およびデジタルデータ処理装置の入力としている。

つぎにタービンフロメータの特性を示す。

| | |
|----------|----------------|
| 最大流量 | 2,300 l/hr |
| F-Facter | 1596.22 cycl/l |
| 口径 | 3/4 インチ |

ただし作動流体はジェット燃料(MIL-F-7024 A)である。

(1) 指示燃料流量計

運転モニタ用で指示回転計と同様の方法でパルス信号を電流値に変換し広角度メータに kg/hr の単位で燃料流量を指示させるものである。

本器はジェット燃料 (MIL-F-7024 A) で較正し精度は1.5% 以内である。

またフルスケールで直流 1 mA (出力インピーダンス 3~10Ω) の出力機能を持たせ、記録計の入力としている。

図9に本器試験結果を示す。

3.4 燃料圧力計測装置

燃料圧力はブーストポンプ出口、燃料ポンプ出口および燃料噴射圧力を計測している。

これらのうち燃料噴射圧力はエンジンの回転数制御に際し高精度な制御を必要とする。したがって圧力計測にも高精度、高レスポンスの測定器が必要になる。そのためストレンゲージ使用の圧力変換器 (0~30 kg/cm²) を使用して電流量に変換しストレンメータで計測している。

圧力に対する出力歪量を図10に示す。

3.5 起動空気圧力計測装置

エンジンの起動空気入口で、前項燃料噴射圧力の計測と同様の方法で起動空気圧力の計測を行なっている。圧力変換器の使用範囲は 0~10 kg/cm² である。

図11に起動空気圧力および燃料噴射圧力の計測装置のブロック図を示す。

3.6 スロットル角度指示装置

エンジンの燃料制御のためのスロットル角度を遠隔指示する装置である。

これは発信器、零調整器、サーボ指示計、サーボ増幅器およびリニアライダ出力を整流する整流器で構成している。

燃料管系に入れたスロットルバルブの開閉に同期させたシンクロ発信器の出力信号をサーボ指示計のシンクロ制御変圧器で受け、その相対回転角度差による電圧をサーボ増幅器で増幅し、サーボモータジェネレータの制御巻線に印加して平衡させるものである。サーボモータジェネレータと運転盤上の指示計と連動させている。

またシンクロ発信器とシンクロ制御変圧器の間に制御シンクロ差動発信器を入れて相対角位置を自由に換えられる機能にした。

さらに指示計のリニアライザの出力を整流してスロットル開度に比例した直流電流 (0~2 mA) と直流電圧 (0~10 V) を得て、前者は記録計の、後者はデジタルデータ処理装置の入力としている。

スロットル位置指示装置のブロック図を図12に示す。

3.7 圧力計測装置

圧力はエンジン空気流量の計算、圧縮機圧力比、効

率などエンジン作動点を決定する重要な役割をもっている。そのため高精度の圧力変換器を使用した。

図 1 に示した各空気圧力を、エンジンから圧力端子盤を介して計測室内に導いている。

エンジンに取り付けた各圧力検出器から圧力端子盤に至る間は、高温の部分はネオプレン管で、その他の部分はビニール管で導いている。

計測室内圧力を除く各圧力は計測室内との差圧で検出している。

圧力計としてはつぎのものがある。

| 圧力計名 | 計測範囲 | 個数 | 備考 |
|----------------------|---------------------------|-----|-------|
| 精密圧力計 ⁽²⁾ | -1~5 kg/cm ² g | 10個 | |
| 水マノメータ | 0~1,800 mmAq | 36本 | |
| 水銀マノメータ | 0~1,800 mmHg | 36本 | |
| 圧力変換器 | -1~+5 kg/cm ² | 48個 | 4.5参照 |

計測室内圧力、すなわち大気圧はフォルチンの気圧計およびオートバロメータ (4・5 参照) で計測している。

3.8 温度計測装置

温度の検出部は熱電対温度計で、低温部の温度計測には鉄-コンスタンタン熱電対温度計を、また高温部の温度計測にはアルメルクロメル熱電対温度計を用いている。圧力同様温度も高精度な計測が要求され配線による誤差を極力小さくするために温度計の出力を熱電対と同種のピンを持つキャノンプラグ群でできた中継端子盤を介して計測室内に導いている。

温度計測器としてはつぎのものがある。

| 温度測定器名 | 計測範囲 | 個数 | 備考 |
|--------------|-------------|-----|-----------------------|
| 12点切換温度計 | 0~1,200°C | 1台 | 24点切換 (自動) (可能) |
| デジタル電圧計 | 0~29,999 mV | 2台 | |
| 4チャンネルペン書オシロ | 0~40 mV | 1台 | |
| 温度変換器 | 0~40 mV | 16個 | |

4. デジタルデータ処理装置

本装置は原動機要素試験用計測設備をできる限り改造することなく流用したもので、電子計算機を主体とするデータログである。

装置は位置、圧力、温度等を電気量に変換する装置、各計測点を選択走査しアナログデジタル変換 (以下 A/D 変換と言う) を行ない電子計算機に入力する装置、演算結果を表示する装置およびこれらのコントロール装置で構成している。

構成要素はつぎの通りである。

| | |
|----------------------|------|
| HIPAC 103 型電子計算機システム | 1 式 |
| アナログデータリネージュ | 1 台 |
| 操作卓 | 2 台 |
| 回転数計数装置 | 2 台 |
| 圧力変換器 | 48 個 |
| 温度変換器 | 16 個 |
| 圧力校正装置 | 1 式 |

これらの系統図を図 13 に示す。

4.1 HIPAC 103 型電子計算機システム

本システムは図 13 に示す通り処理装置本体に磁気ドラム記憶装置、制御卓、万能入出力装置、ラインプリンタおよび磁気テープ記憶装置の 1 台のシンプルなものである。

本機の仕様はつぎの通りである。

| 処理装置 | | | |
|-----------|--|-----------|-----------|
| 形 式 | プログラム内蔵形 | | |
| 主演算素子 | パラメトロン | | |
| 数値取扱方式 | 固定および浮動小数点、並列演算方式 | | |
| 数 値 桁 数 | 固定小数点; 符号+2 進47桁 浮動小数点; 符号+指数2 進8桁 +係数2 進39桁 | | |
| 命 令 | ベアードオーダ方式 インデックスレジスタ3個 | | |
| 演 算 速 度 | 固定小数点 | 浮動小数点 | |
| | 加 減 | 0.4 ms | 0.4~1.3ms |
| | 乗 算 | 1.8 ms | 1.8 ms |
| | 除 算 | 6.5 ms | 5.7 ms |
| 内部記憶装置 | 磁心記憶装置 | 1,024語 | |
| | 磁気ドラム記憶装置 | 7,168語 | |
| 磁気ドラム記憶装置 | | | |
| 容 量 | 8,192 語 (内部記憶装置のうち磁気ドラム部分を含む) | | |
| 平均アクセスタイム | 10 ms | | |
| 万能入出力装置 | | | |
| 印 字 速 度 | 500 字/分 | | |
| セン孔速度 | 500 字/分 | | |
| 1 行印字数 | 80 字 | | |
| 活字の種類 | 3 段シフト | 94種 | |
| テープ読み取り速度 | 機 械 式 | 500字/分 | |
| | 光 電 式 | 12,000字/分 | |

| ラインプリンタ | |
|-----------|---------------|
| 方 式 | タイプホイール式 |
| 最高印字速度 | 300 行/分 |
| 1行最大印字数 | 120 字 |
| 活字の種類 | 94 種 |
| 磁気テープ記憶装置 | |
| データ処理速度 | 24,000 桁/秒 |
| テープ速度 | 2,000 mm/秒 |
| 書込密度 | 12 桁/mm |
| 磁気ヘッド | デュアルヘッド 8トラック |
| 記憶容量 | 約 76 万語/巻 |

図 14 に計算機室の写真を示す。

4.2 アナログデータリンケージ

本機はアナログデータをデジタルデータに変換して HIPAC 103 型電子計算機(以下 HIPAC 103 と言う)に入力する装置でつぎの4種の機能を持っている。

1. 特定のチャンネルを選択し A/D 変換を行う。
2. 12個の制御スイッチを有しプログラムの選択および HIPAC 103 のコントロールを行なう。
3. 2個のデジタル入力チャンネルを有する。
4. HIPAC 103 の出力を外部に表示する。

これらの実行は HIPAC 103 の命令によって行なわれる。

つぎに本装置のおもな仕様を示す。

| | | |
|--------|---------|---|
| アナログ入力 | 電 圧 | 0~±10.235V (入力インピーダンス 100k Ω) |
| | | 0~±1.0235V (入力インピーダンス 10k Ω) |
| | チャンネル数 | 60+59 (リモートコントロールによる切替可能) |
| | 走査速度 | 30チャンネル/sec以上 |
| | A/D 変換器 | 精 度 |
| | 速 度 | 200 μ sec 以上 |
| | 出 力 | 符号+2進11桁 |
| デジタル入力 | チャンネル数 | 2 |
| | 桁 数 | 1-2-4-8 コードによる10進5桁 |

アナログ入力電圧は0~±10.235Vと0~±1.0235Vの切替式になっている。前者は精度を要求する計測に適し、今回のジェットエンジンの計測に使用している

もので、後者はアナログ磁気テープの出力を A/D 変換するためのものである。

アナログ入力チャンネル 60+59 は2つのグループに別れていて、グループの切替は手動スイッチで行なっている。

ジェットエンジンの計測ではグループ1(60点)のみ使用している。アナログ入力のチャンネル走査は任意のチャンネルを任意の順序で行える。

走査速度は30点毎秒で低速乍らジェットエンジンの計測に十分な同時データが得られている。

A/D 変換器は帰還形変換器である。A/D 変換速度は200 μ s 以上でデータの時間的変動に対しても十分な性能を持っている。

A/D 変換器出力は符号+2進11桁、すなわち±0~±2047 である。前項で述べた通り HIPAC 103 は1ワード48ビットであるから1メモリに4個のデータが格納できる。磁気ドラム記憶装置のデータ格納番地を7,000としても28,000個のデータを取ることができ、1計測に60点のデータを取るとして1回の運転で466回計測でき、エンジンおよび各要素の性能解析に十分なデータが得られている。

本機に付属する12個の制御スイッチは計算機のプログラム指定および計算機のコントロールを行なうもので、このスイッチは後に述べる操作卓のプログラム指定スイッチと1対1に対応している。

制御スイッチの状態は6個ずつ2度にわけて判定するため6×6=36通りのプログラムが選択できる。

エンジン回転数、燃料流量等デジタルで検出しているものはデジタル→アナログ変換、アナログ→デジタル変換と言うような方式をとるよりもデジタルはそのまま入力の方が精度もよく装置も簡単になる。そのため2チャンネルのデジタル入力端子を設けエンジン回転数、燃料流量をデジタルで入力している。入力は1-2-4-8コードによる10進5桁である。

修正エンジン回転数、修正空気流量、圧力比等はエンジンの作動状態を監視するため運転中に表示するのが望ましい。そのため演算した結果を本機を介して、後で述べる操作卓の6組の10進5桁表示管に表示している。表示信号の分配は2進4桁の信号の組み合わせで行なっている。

本機の回路ブロック図を図15に、写真を図16に示す。走査器を含むA/D変換器の試験結果を図17に示す。

4.3 操作卓

操作卓は計測室に設置し、前述アナログデータリン

ケージをリモートコントロールするものである。

アナログデータリンケージの制御スイッチと1対1に対応した12個のプログラム指定押ボタンスイッチおよび読み込み指令ボタンを有し、プログラム指定、データの読み込みを行なっている。また1台に3組2台で6組の10進5桁表示管を有し、エンジン修正回転数、修正空気流量、圧力比、修正推力、修正燃料流量等を必要に応じて表示させている。

本機の写真を図18に示す。

4.4 回転数計数装置

本機は10進5桁のデジタルカウンタに1-2-4-8コードによる出力機能を持たせたもので、外部からリセットされた場合のみ読み込信号を発するようになっている。また外部からクランプ信号を受けた場合はその信号を受けている間中表示を持続する。

2台のうち1台はエンジン回転数を他は燃料流量計測用タービンフローメータの回転数をそれぞれ計測している。

つぎに本機の電氣的性能を示す。

| | |
|--|---|
| 応動周波数 | 10 c/s~250 kc/s |
| 計数容量 | 9999 |
| 精度 | ±1± 発振器安定度 |
| 発振器安定度 | 3×10 ⁻⁵ |
| 入力感度 | 0.3 V r.m.s |
| 入力インピーダンス | 0.5 MΩ 50 PF 以下 |
| 計数時間 | |
| 回転数計 | 0.5, 1.0 sec |
| 燃料流量計 | 0.4, 0.8 sec |
| 表示時間 | 約2 sec |
| 但し外部からクランプ信号 (-6V, 1mA) が与えられている時間表示を持続する。 | |
| 出力コード | 1-2-4-8 |
| レベル | "1" -6~-12V 10 kΩ以下 "0" -0.2~ 0V 100kΩ以下 |

図19に本機のブロック図を示す。

図20に本機の写真を示す。

アナログ信号の場合は常に走査器まで加っているのどいつ選択されても正しい値で読み込まれるがデジタル信号の場合はカウントの途中、あるいはカウントを始める前にクランプ信号によって保持されるおそれがある。そのため2台のカウンタを同時に外部リセットし2台の読み込み信号のANDでもってアナログデータリンケージを制御している。これらのブロック図を図21に、信号の授受を図型化したものを図22に示す。

4.5 圧力変換器

圧力変換器は圧力量をアナログ電気量に変換する装置で、各種圧力をペローズで力に変換しこれを直接力平衡機構により電磁力と平衡せしめ電磁力と対応する電力を取り出すことによって圧力を電気量に変換している。この方法によると、従来の変換器と異なりペローズの変位がほとんどなく、したがって直線性がすぐれている。また精度上問題になる周囲温度に対する対策としては、圧力変換器6個を1組として一つのきょう体に納め、きょう体自身を恒温槽にしている。これによってプレテンションを与えているスプリングの張力を一定に保ち、零点、スパン共に高度の再現性を得ている。

精度はフルスケールの±0.2%である。

図23に本機の試験結果を示す。

圧力変換器にはつぎのものがある。

| 測定範囲 | スケール ファクタ | A/D変換出力 | 個数 | 備考 |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|----|-----|
| 0~1000 mmAq | 5 ×10 ⁻⁵ | 0~ 2000 | 3 | 差圧計 |
| 0~2500 mmAq | 1.25×10 ⁻⁴ | 0~ 2000 | 3 | 差圧計 |
| -0.5~0 kg/cm ² | 2.5 ×10 ⁻⁴ | -2000~ 0 | 6 | |
| -0.5~1.0 kg/cm ² | 5 ×10 ⁻⁴ | -1000~+2000 | 18 | |
| -1.0~1.0 kg/cm ² | 1 ×10 ⁻³ | -1000~+1000 | 3 | |
| 0~2.5 kg/cm ² | 1.25×10 ⁻³ | 0~ 2000 | 6 | |
| 0~5 kg/cm ² | 2.5 ×10 ⁻³ | 0~ 2000 | 9 | |

以上7種の圧力変換器を計測点に応じて使い別けることによって十分な総合精度を上げている。

図24に本機のブロック図を示す。

圧力変換器の較正はベビーコンプレッサと真空ポンプを空気源とする圧力管および減圧管からの空気を調圧弁で調圧し圧力変換器および自動マノメータに加えて、圧力変換器の出力と自動マノメータの指示値の突合せで行なっている。

自動マノメータは水銀柱の高さをシャット円コードによって電気量に変換しA/D変換してデジタルで表示し、圧力変換器の出力はデジタルボルトメータで計測する一方HIPAC 103によって100回の計測を行ない最大、最少、平均値をそれぞれ印字し、そのいずれもが0.2%以内に納まるように調整している。

大気圧の測定にはオートパロメータを用い、水銀柱

の高さを電氣量に変換している。

圧力較正の系統図を図 25 に、また図 26 に圧力変換器の写真を示す。

4.6 温度変換器

温度変換器は熱電対温度計の起電力をフルスケール 10V に変換するもので 2 種類使用している。

一つは精密級温度計と呼んでいるもので自動平衡温度計である。本器は熱電対温度計の起電力と帰還電圧との差電圧を変換増幅して平衡電動器を駆動し、平衡電動器に連動のポテンシオメータを回転追従平衡させ mV で表示するものである、また帰還用ポテンシオメータと連動のポテンションメータに 10 V の定電圧を加え、その回転角に対応する電圧を取り出す方法により温度を電氣量に変換している。

本器のブロック図を図 27 に示す。

他方の温度変換器は熱電対温度計の起電力を規準化したトランジスタチョッパで約 2 kc の交流に変換した後増幅し、それを同期整流することによってフルスケール 10 V に変換している。

本機は帰還電圧を入力端子までかけているので精度上熱電対温度計のアースとの絶縁が問題になってくる。本器も圧力変換器同様も 6 個 1 組で恒温槽のきょう体に納めている。図 28 にブロック図を図 29 に本器の写真を示す。

つぎに温度変換器の種類を示す。

| 名 称 | 計測範囲 | スケール ファクタ | A/D変換出力 | 個 数 | 精 度 |
|--------|--------|----------------------|---------|--------|-------------|
| 精密級温度計 | 0~ 5mV | 2.5×10^{-3} | 0~2000 | 2 | $\pm 0.2\%$ |
| 〃 | 0~20mV | 1×10^{-2} | 〃 | 1 | 〃 |
| 〃 | 0~40mV | 2×10^{-2} | 〃 | 1 | 〃 |
| 温度変換器 | 0~10mV | 5×10^{-3} | 〃 | 2 | $\pm 0.3\%$ |
| 〃 | 0~20mV | 1×10^{-2} | 〃 | 4 | 〃 |
| 〃 | 0~40mV | 2×10^{-2} | 〃 | 6 | 〃 |

本機の較正は各きょう体毎に持っている精密直流電源を入力とし、その電圧に対する変換器出力を測定することによって行なっている。測定に用うる機器および方法は圧力変換器の場合と同様である。図 30 に本器の試験結果を示す。

5. リアルタイムデータ処理

ジェットエンジン、特に VTOL 用リフトジェットエンジンの運転においては短時間の運転を何度も繰り返す行なうため、短時間に多くのデータを収録することが要求されるのみならず、つぎに続く運転のコンフ

グレーションを決定するためにも迅速なデータの処理が要求される。

そのためデータの実時間処理を行なっている。

各計測器の零点の変動による誤差をふせぐため毎回運転前に計測器を較正することは大変な労力と時間の損失である。そのため運転開始前にあらかじめ各計測器の零点データを HIPAC 103 に記憶せしめ、つぎのデータから零点データを差引くことによって零点移動による誤差から逃がっている。

無作為に抽出した零点データを図 31 に示す。この方法によってデータ、演算結果ともすぐれた再現性を得ている。

計算結果のグラフの一例を図 32 に示す。

実時間処理を行なっている内容はつぎのとおりである。

- 1) 修正エンジン回転数の計算
 - 2) 空気流量, 修正空気流量の計算
 - 3) 圧縮機圧力比の計算
 - 4) 推力, 修正推力の計算
 - 5) 修正燃料流量の計算
 - 6) 修正空燃比の計算
 - 7) 燃料消費率の計算
 - 8) 圧縮機出口平均修正全圧の計算
 - 9) タービン出口平均修正全圧の計算
- 抽気運転を行なうものについては上記のほかに
- 10) 修正抽気流量の計算
 - 11) 抽気による修正推力の計算
 - 12) 抽気率の計算

5.1 計算方法

(1) 記号

| | |
|-------------------|-------------------------|
| N_i : エンジン回転数 | R.P.M |
| W_{fi} : 燃料流量 | cycle/0.8 or kg/sec |
| W_{ij} : 空気流量 | kg/sec |
| F_{ij} : 推力 | kg |
| F/A : 修正空燃比 | |
| SFC : 燃料消費率 | |
| P_{atm} : 大気圧 | kg/cm ² abs |
| p_{ij} : ゲージ圧力 | kg/cm ² gage |
| P_{ij} : 絶対圧力 | kg/cm ² abs |
| e_{ij} : 温度計起電圧 | mV |
| T_{ij} : 絶対温度 | °K |
| A_{ij} : 面積 | m ² |
| Br : 抽気率 | % |
| M_{ij} : マッハ数 | |
| a_{ij} : 音速 | m/sec |

| | |
|---------------------|-----------------------------|
| v_{ij} : 気流速度 | m/sec |
| γ_{ij} : 比重量 | kg/m ³ |
| θ : 温度修正ファクタ | |
| δ : 圧力修正ファクタ | |
| R : 空気のガス定数 | 29.45 kgm/kg ^o K |
| k : 空気の比熱比 | 1.4 |
| g : 重力の加速度 | 9.8 m/sec ² |

添字 i

- 1 : エンジン入口
- 2 : 圧縮機入口
- 3 : 圧縮機出口
- 4 : タービン入口
- 5 : タービン出口
- 6 : 抽気空気
- c : 修正値
- n : 発信周波数
- s : 標準値

添字 j

- s : 静温, 静圧
- 0 : 全温, 全圧
- c : 修正値
- 1 : 抽気ノズルしぼり前およびくし形全圧管の半径位置 1
- 2 : 抽気ノズルスロートおよびくし形全圧管の半径位置 2
- 3 : くし形全圧管の半径位置 3
- 4 : くし形全圧管の半径位置 4

(2) 計算式

エンジン入口温度および抽気温度は鉄—コンスタンタン熱電対温度計の起電圧で計測している。

起電圧を温度に変換するのにつぎの近似式を用いた。

$$T_{ij} = 5.89197 \times 10^2 + 1.91370 \times 10^1 e_{ij} - 1.17177 \times 10^{-1} e_{ij}^2 + 3.41075 \times 10^{-3} e_{ij}^3 \quad (1)$$

(1) 式を JIS による標準値と比較したものを図 33 に示す。

各特性値の修正はエンジン入口温度 15°C, エンジン入口圧力 1.0332 kg/cm²abs に換算したものである。

修正ファクタ θ および δ はつぎの式で定義する。

$$\theta = \frac{T_1 + T_s}{T_s + 15}$$

$$\delta = \frac{P_1 + P_{atm}}{P_s}$$

ただし $T_s = 273.18^\circ\text{K}$

$$P_s = 1.0332 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$$

エンジン修正回転数: N_c

$$N_c = \frac{N}{\sqrt{\theta}}$$

空気流量: W

$$W = A_1 \sqrt{2g \frac{P_{2s}(P_{20} - P_{2s})}{RT_{2s}}} \times 10^4$$

気流はエンジン入口から検査断面 (圧縮機入口) まで断熱変化するものとして

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{P_{2s}}{P_{20}} \right)^{(k-1)/k}$$

ただし $P_{2s} = P_{2s} + P_{atm}$

$$P_{20} = P_{20} + P_{atm}$$

$$W = A_1 \sqrt{\frac{2g}{R}} \sqrt{\frac{P_{20}^{(k-1)/k} P_{2s}^{1/k} (P_{20} - P_{2s})}{T_1}} \times 10^4$$

この式ではピトー管の特性およびマッハ数の影響に対する考慮はプログラムの長さおよび計算時間の上から一切しなかった。しかしながらピトー管検定の結果によると、ピトー管の特性とマッハ数の影響が相殺される方向にあるので大きな誤差は生じない。図 34 に空気流量の誤差曲線を示す。

修正空気流量: W_c

$$W_c = W \sqrt{\frac{\theta}{\delta}}$$

圧縮機圧力比: π

$$\pi = \frac{P_3}{P_1}$$

$$\text{ただし } P_3 = \frac{\sum_{i=1}^4 P_{3i}}{4} + P_{atm}$$

推力: F

推力によるエンジン運転架台の歪によって実際の推力と推力の指示値が異なってくる¹⁾。これを修正するため、エンジン装着部にデッドウェートを載せて較正しつぎの修正式を作った。

$$F = F_r (1.0125 + 0.75 \times 10^{-6} F_r)$$

ここで F_r は推力の読みである。

修正推力: F_c

$$F_c = \frac{F}{\delta}$$

修正燃料流量: W_{fc}

燃料流量は 0.8 sec 当りのサイクル数で検出している k-Factor が 1596.22 cycle/l であるから燃量の比重量を 0.762 として

$$W_f = 0.59672 \times 10^{-3} W_{fn}$$

$$W_{fc} = \frac{W_f}{\sqrt{\theta} \delta}$$

修正空燃比: F/A

$$F/A = \frac{W_c}{W_{fc}}$$

燃料消費率: SFC

$$SFC = \frac{W_{fc}}{F_c}$$

圧縮機出口平均修圧力: P_{3c}

$$P_{3c} = \frac{P_3}{\delta}$$

タービン出口平均修正圧力: P_{5c}

$$P_{5c} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_{5i} + 4 Patm}{4\delta}$$

抽気空気流量: Wb

抽気は図 35 に示すノズルから自由噴出させている。

気流はノズル内で断熱変化するものとして連続の式から計算するとノズル内における全圧はつぎの式で表わされる。

$$P_{b0} = \left\{ \frac{P_{b1}^{(k+1)/k} - C^2 P_{b2}^{(k+1)/k}}{P_{b1}^{2/k} - C^2 P_{b2}^{2/k}} \right\}^{k/(k-1)}$$

$$C = \frac{Ab_2}{Ab_1}$$

抽気空気流量: Wb

$$Wb = \gamma b_2 \cdot Ab_2 \cdot v b_2$$

ここで

$$\gamma b_2 = \frac{P_{b2} \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 b_2 \right) \times 10^4}{R \cdot T b}$$

$$M b_2 = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left\{ \left(\frac{P_{b0}}{P_{b2}} \right)^{k-1/k} - 1 \right\}}$$

$$a b_2 = \sqrt{\frac{g k R T b}{1 + \frac{k-1}{2} M^2 b_2}}$$

$$v b_2 = M b_2 \cdot a b_2$$

であるから

$$Wb = \frac{P_{b0}^{(k-1)/k} \cdot P_{b2}^{1/k}}{R \cdot T b} \times \sqrt{\frac{2}{k-1} g k R T b \left(1 - \frac{P_{b2}}{P_{b0}} \right)^{(k-1)/k}} \times 10^4$$

抽気による推力: Fb

ノズル効率を 100% として計算している。

$$Fb = \frac{Wb}{g} v b_2 + A b_2 (P_{b2} - P_1)$$

ただし右辺右項はノズルチョークの場合のみ意味を持つ。

抽気率: B_r

$$B_r = \frac{Wb}{W} \times 100$$

5.3 データ処理方法およびプログラム

プログラムの読み込は最初紙テープで行ない、2度目以後は磁気テープから行なっている。

収録データおよび演算結果の打出しは、ラインプリンタまたは頁式のタイプライタで行なっている。

また収録データは後に各要素性能解析のため必要になり電子計算機での処理に好都合な紙テープにさん孔している。

これら、データおよび結果のプリントは運転中にも行なえるが、運転中はデータの収録に重点を置きプリントは運転終了後行なうものとしている。

まずデータを収録し、演算に便利なフローティング変換し、零点データを差し引いて磁気ドラム記憶装置に格納する。また演算を必要とするものはこの時計算し、この値も磁気ドラム記憶装置に記憶させている。つぎにプログラムの種類を示す。

| コントロール SW No. | 先頭番地 | 内容 |
|---------------|------|--------------------|
| 1 | A0 | データの収録 |
| 2 | B0 | データの収録および演算 |
| 3 | C0 | データの収録、演算および結果表示 |
| 4 | D0 | データの収録、演算および結果プリント |
| 5 | E0 | 格納データを磁気テープに記録 |
| 6 | F0 | 磁気テープ記録データの読み出し |
| 7 | G0 | プログラムを磁気テープに記録 |
| 8 | H0 | 演算結果のプリント |
| 9 | I0 | データのプリント |
| 10 | J0 | プログラム回復 |
| 11 | K0 | 演算結果のタイプ |
| 12 | L0 | データのタイプおよび紙テープさん孔 |

上記でプリントはラインプリンタによるもの、タイプは頁式タイプライタによるものである。

データ、演算結果の打出しが二重三重になっているのは入出力装置が故障した場合でもできるだけ収録したデータを生かすために取った処理である。プログラムの回復とは2回3回と続く運転の場合に1回ずつプログラムを入れ替えないでプログラムを新しくすることである。

以上のプログラムのフローチャートを図 36(1), 36(2), 36(3), 36(4), 36(5) に示す。

6. むすび

本設備は昭和39年6月に完成、以来すでに300回以

上の運転を行なってきた。

予想以上の性能を発揮し従来の計測方法では得られない程の精度、再現性を得ている。

これは同時計測の強みであろう。また実験終了後数分のうちに結果が得られ、エンジンの作動線、各種性能の比較、検討、次回運転方法決定等が迅速に行え大きな時間と労力の節約になった。

一方設備が大きいため保守の件、プログラムを SIP 語で書かなければならない煩雑さ等の欠点もある。

またアンペックス 1300 磁気テープレコーダ装置も完成し今後のエンジン動特性解析に大いに役立つもの

と思っている。

本設備の計画および性能解析方法等、全般にわたって終始御指導いただいた原動機部松木部長ならびに鳥崎室長に感謝の意をします。

文 献

- 1) 大山耕一他；リフト・ジェットエンジン試験設備(I)，航技研資料 TM-92 (1966年10月)
- 2) 航空技術研究所原動機部；航空技術研究所のターボ・ジェットエンジン要素試験設備，航技研報告 TR-24 (1962年2月)

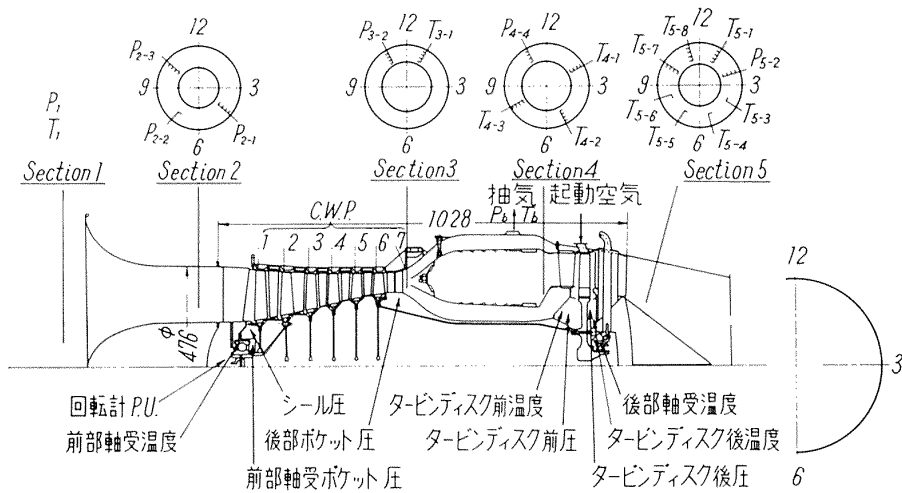


図 1 エンジンおよび計測点位置図

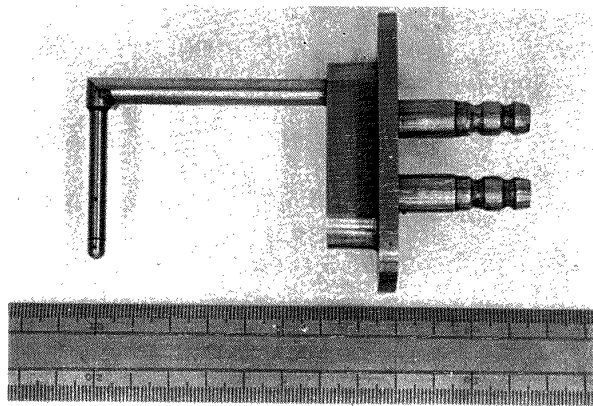


図 2 標準ピトー管

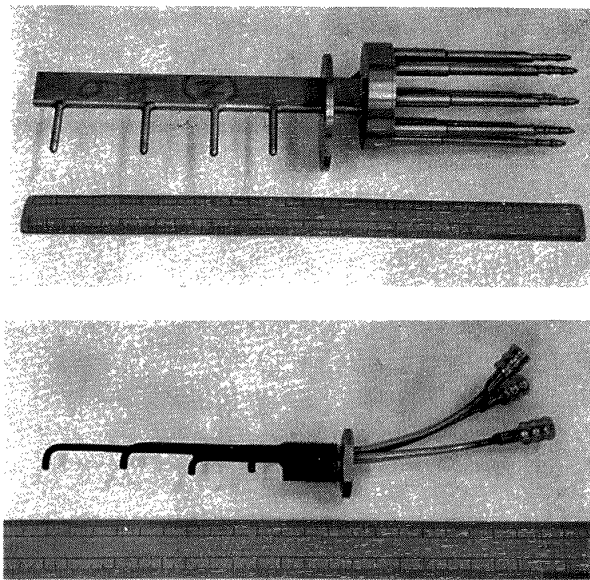


図 3 くし型ピトー管および全圧管

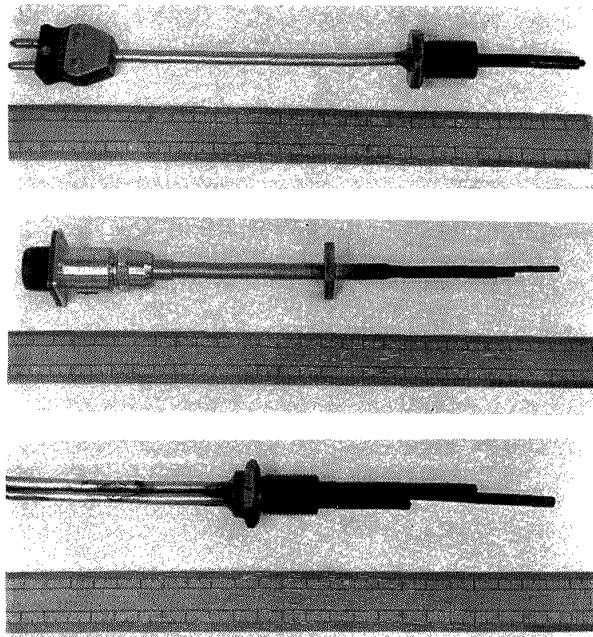


図 4 熱電対温度計

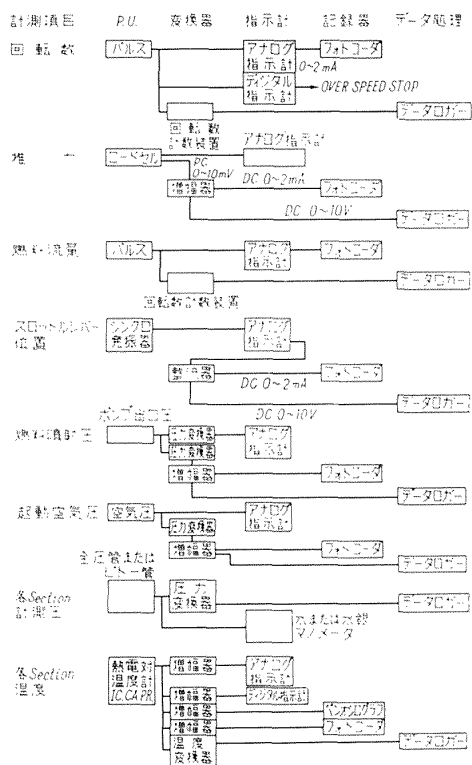


図 5 各種計測ブロック図

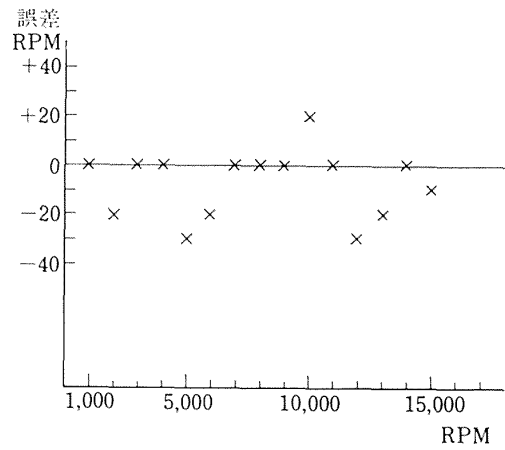


図 6 指示回転計試験結果

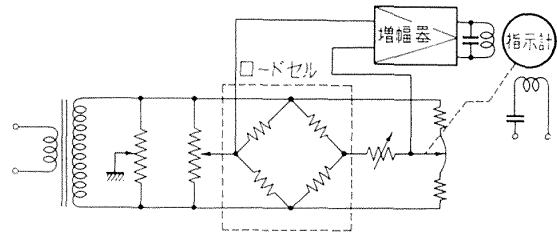


図 7 精密推力計測装置ブロック図

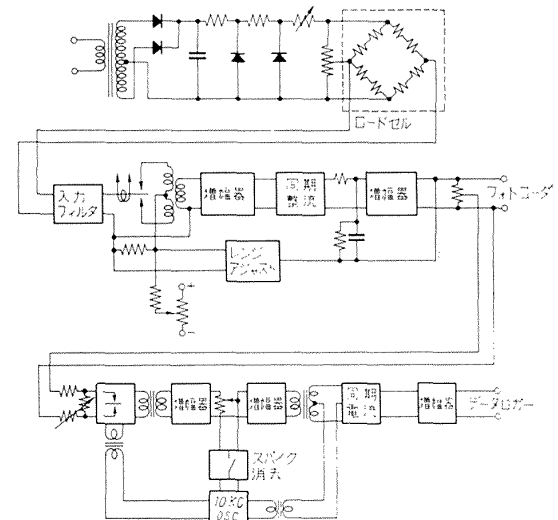


図 8 瞬時推力計測装置ブロック図

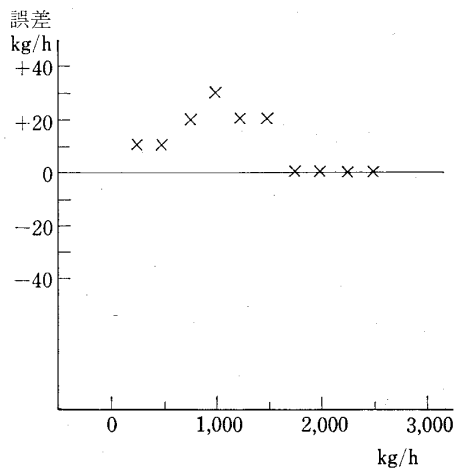


図 9 指示燃料流量計試験結果

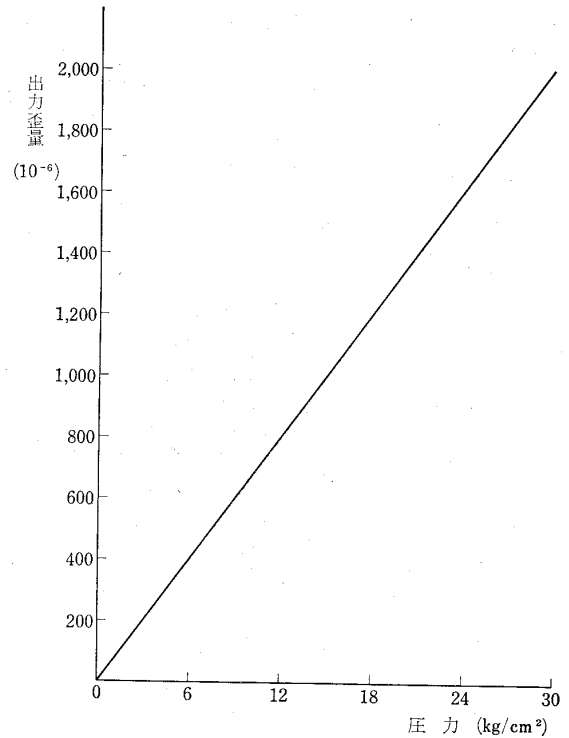


図 10 燃料圧較正曲線

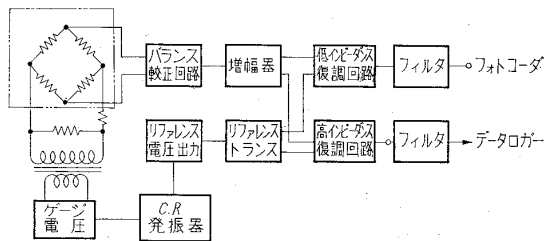


図 11 燃料噴射圧および起動空気圧計測ブロック図

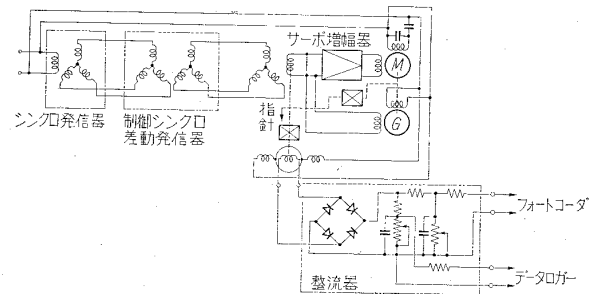


図 12 スロットル角度指示装置ブロック図

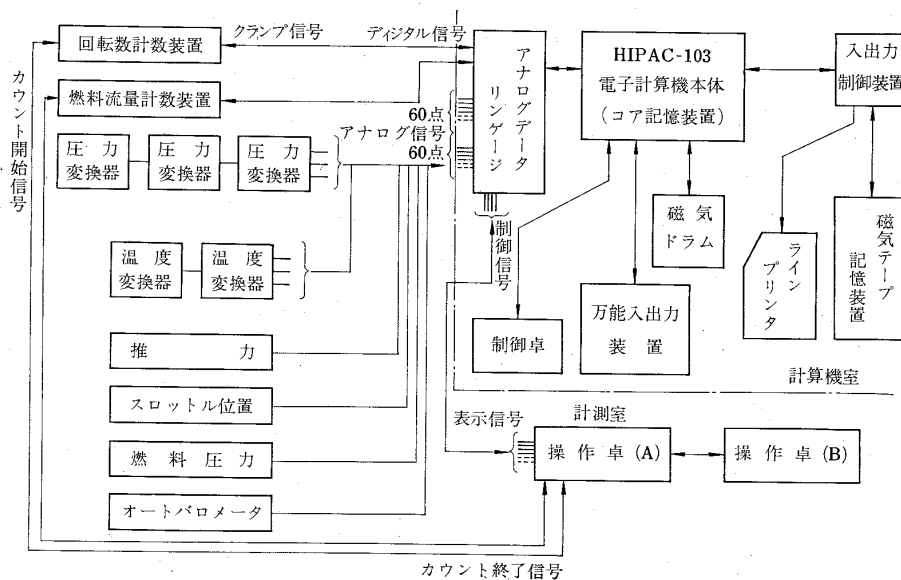


図 13 データ処理ブロック図



図 14 電子計算機室

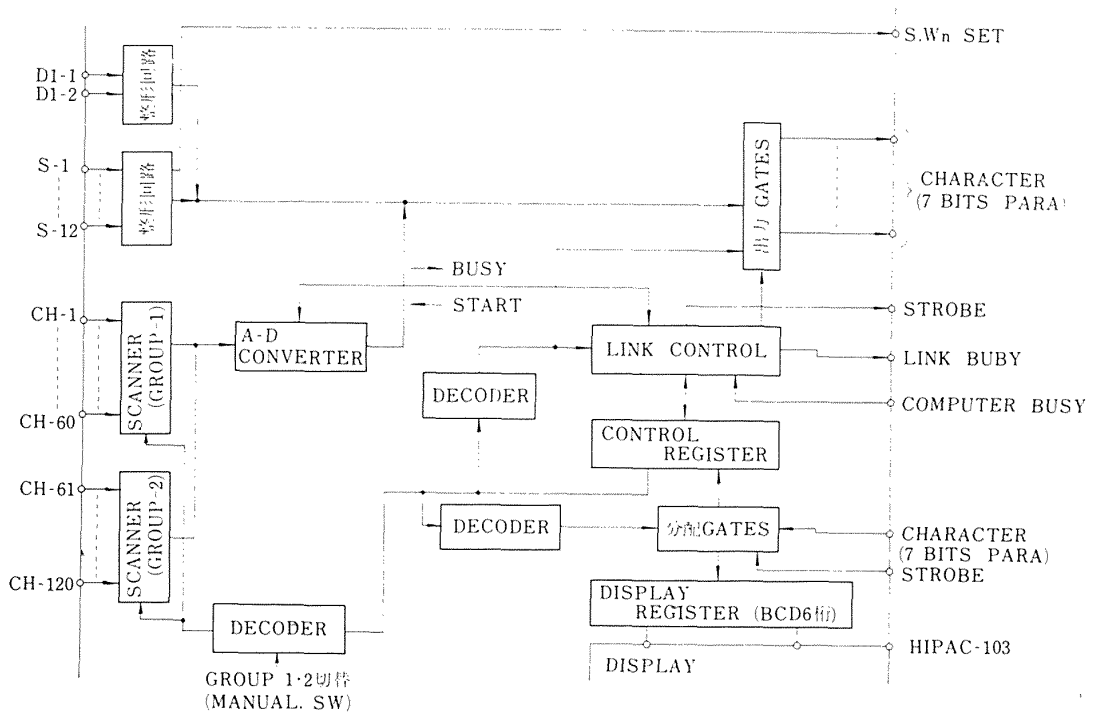


図 15 アナログデータリンクージュブロック図

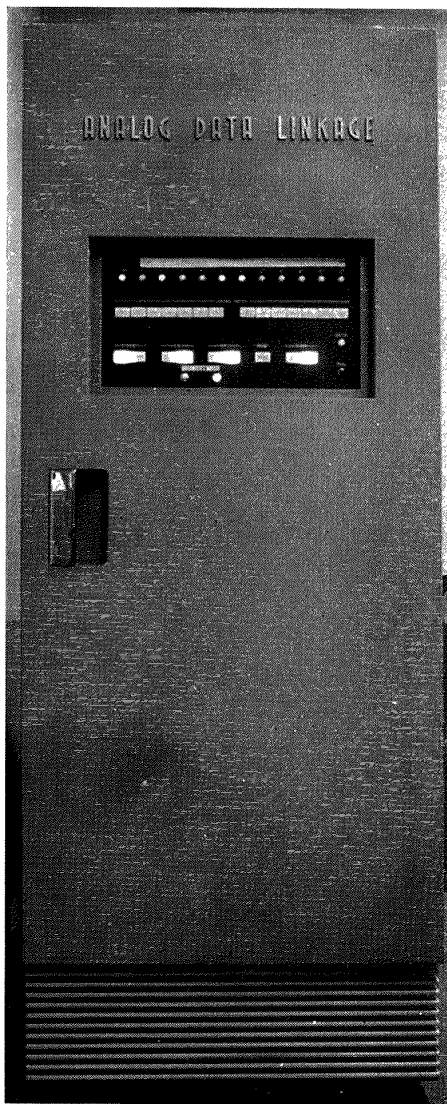


図 16 アナログデータリンケージ

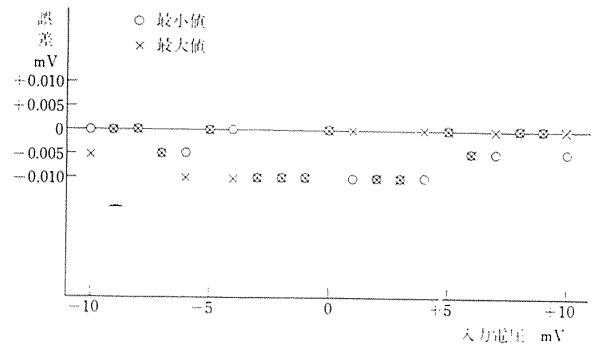


図 17 A/D 変換器試験結果

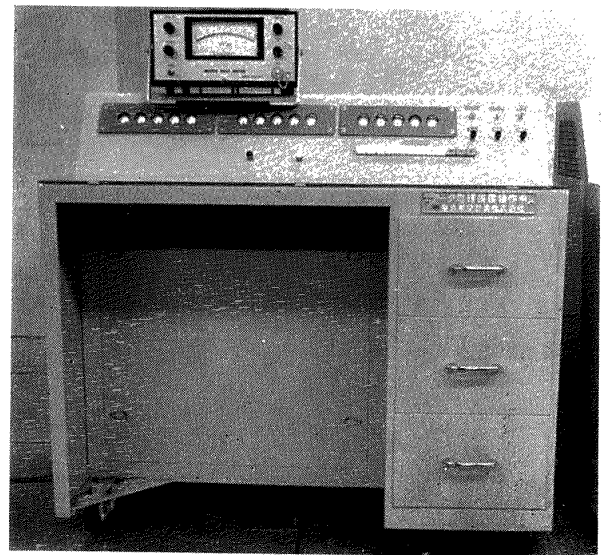


図 18 操作卓

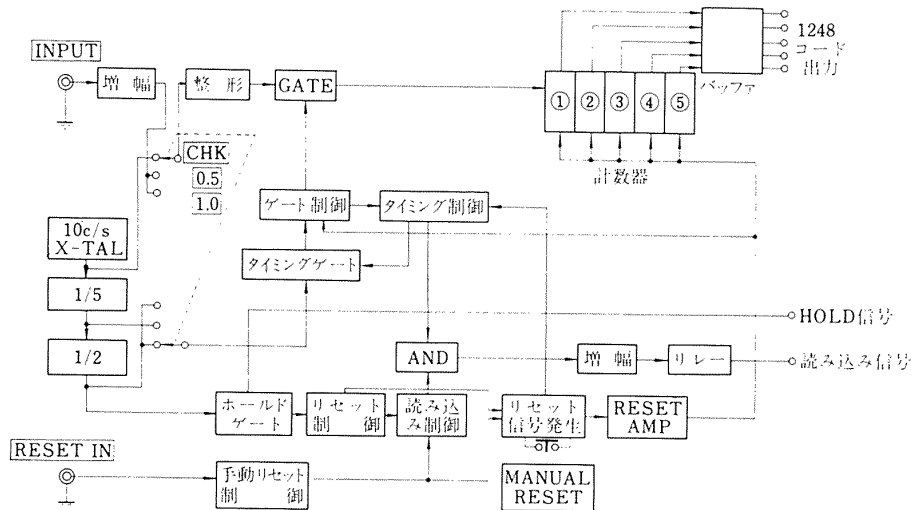


図 19 回転数計数装置ブロック図

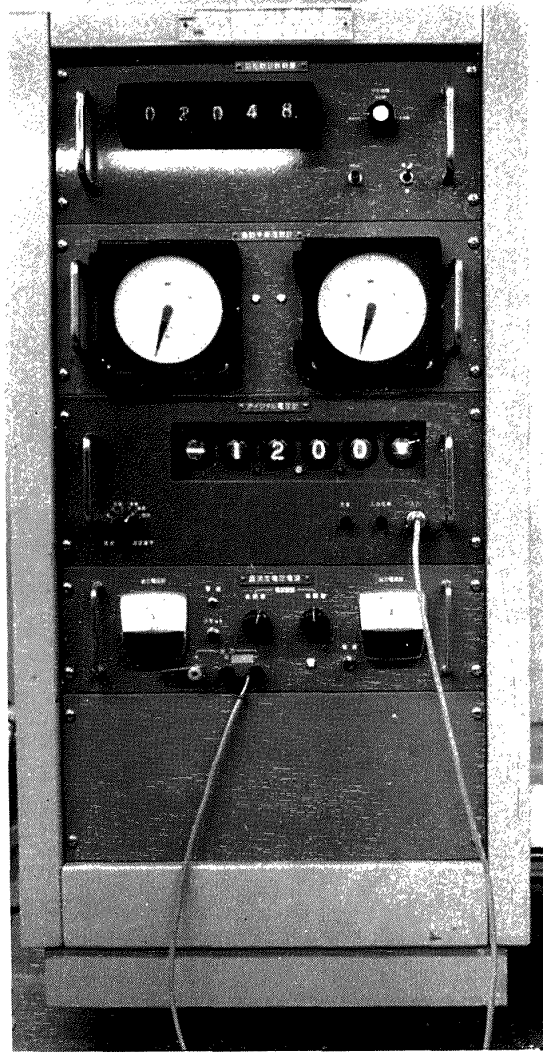


図 20 回転数計数装置

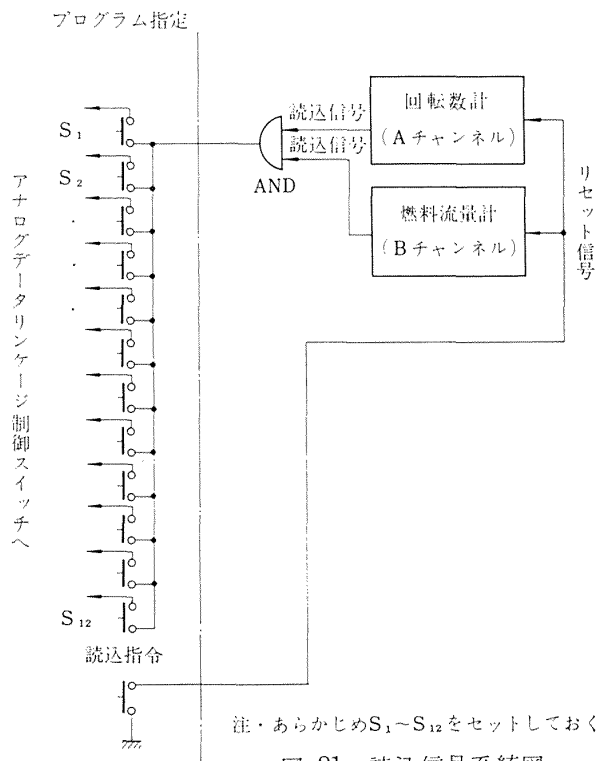


図 21 読込信号系統図

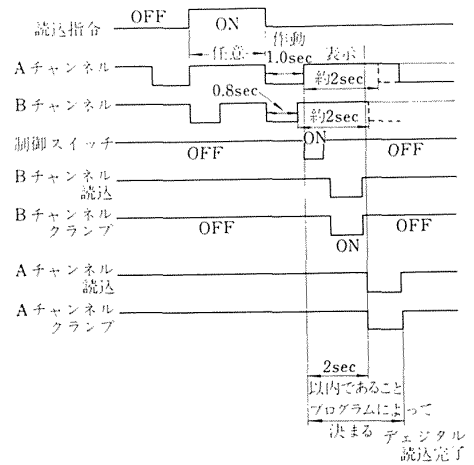


図 22 デジタル信号読込図

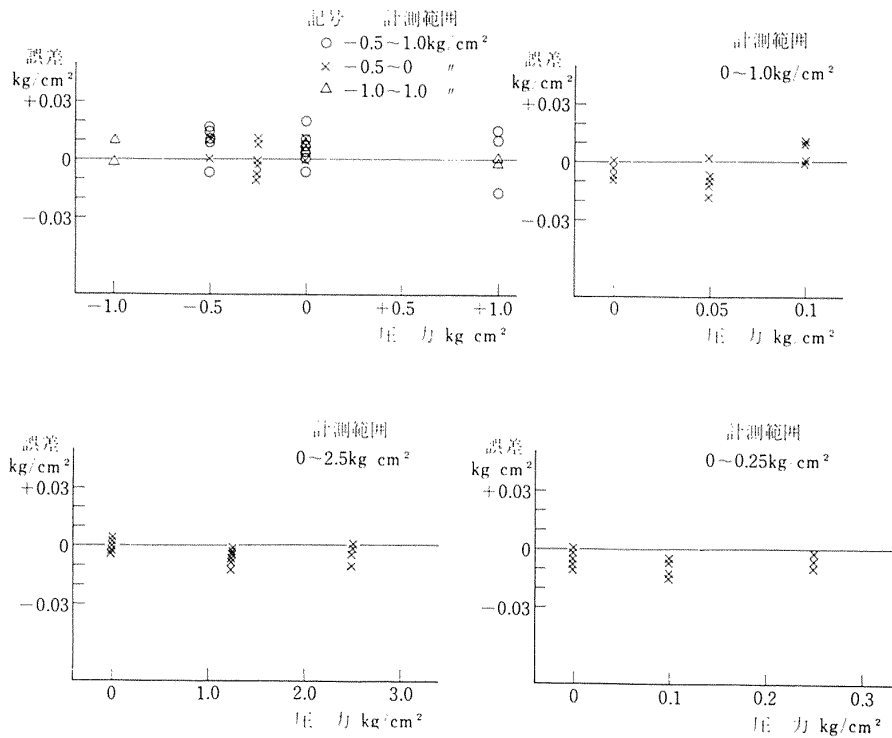


図 23 圧力変換器試験結果

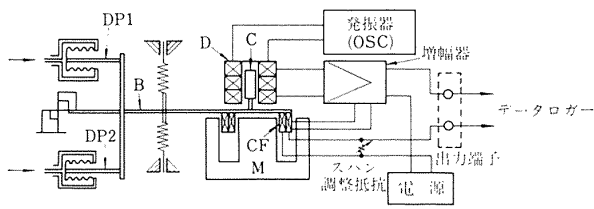


図 24 圧力変換器ブロック図

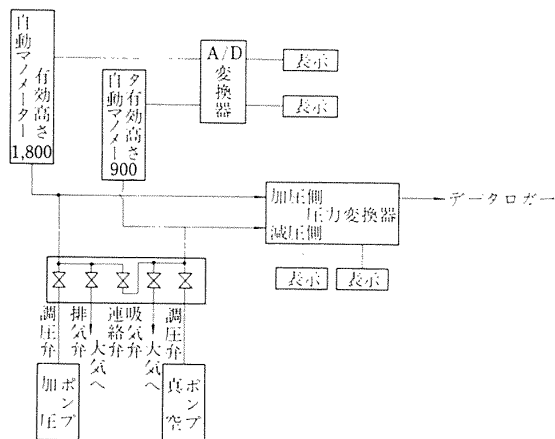


図 25 圧力変換器較正ブロック図

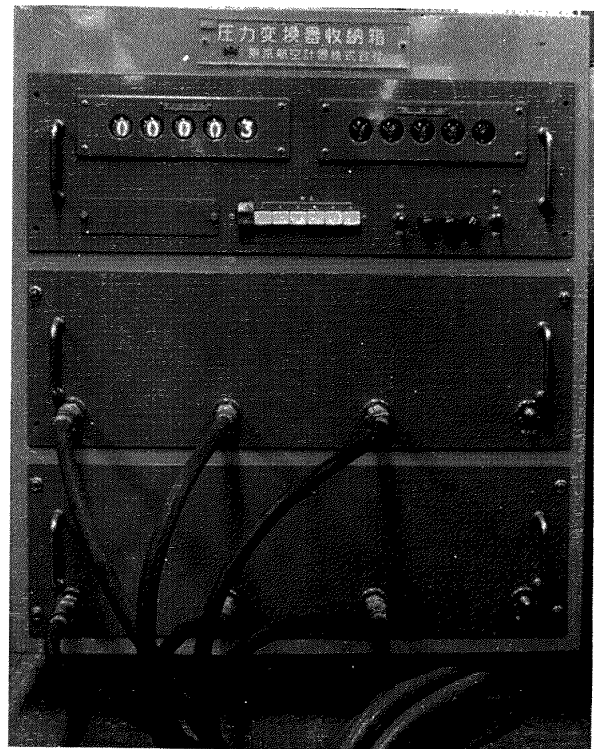


図 26 圧力変換器

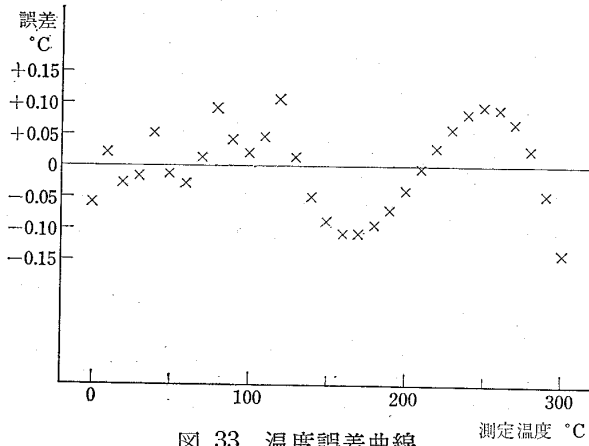


図 33 温度誤差曲線

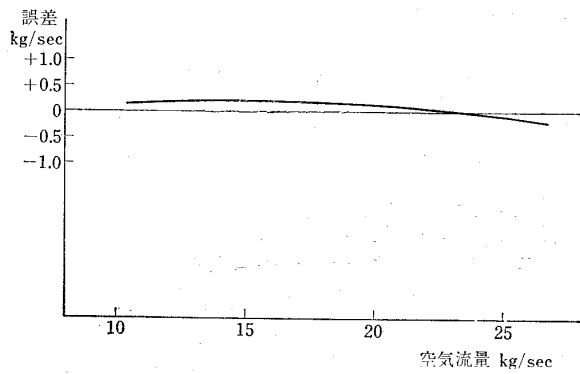


図 34 空気流量誤差曲線

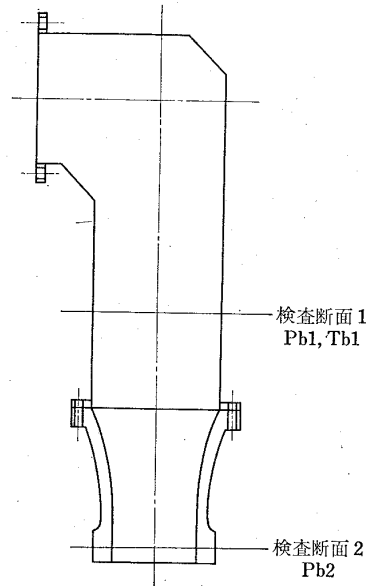


図 35 抽気ノズル断面図

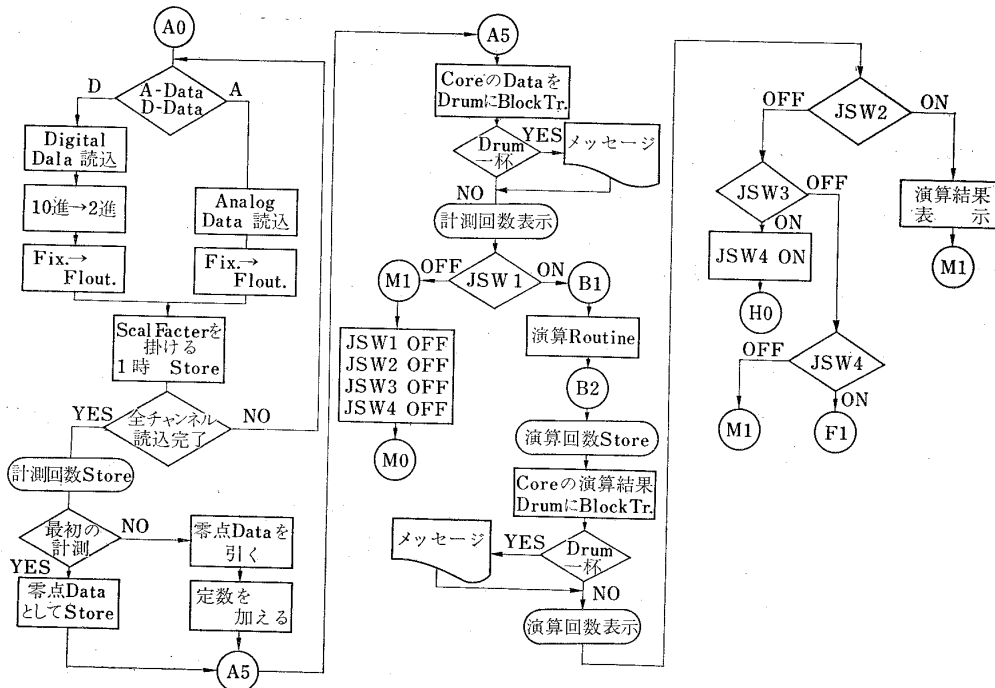


図 36 (1) フローチャート

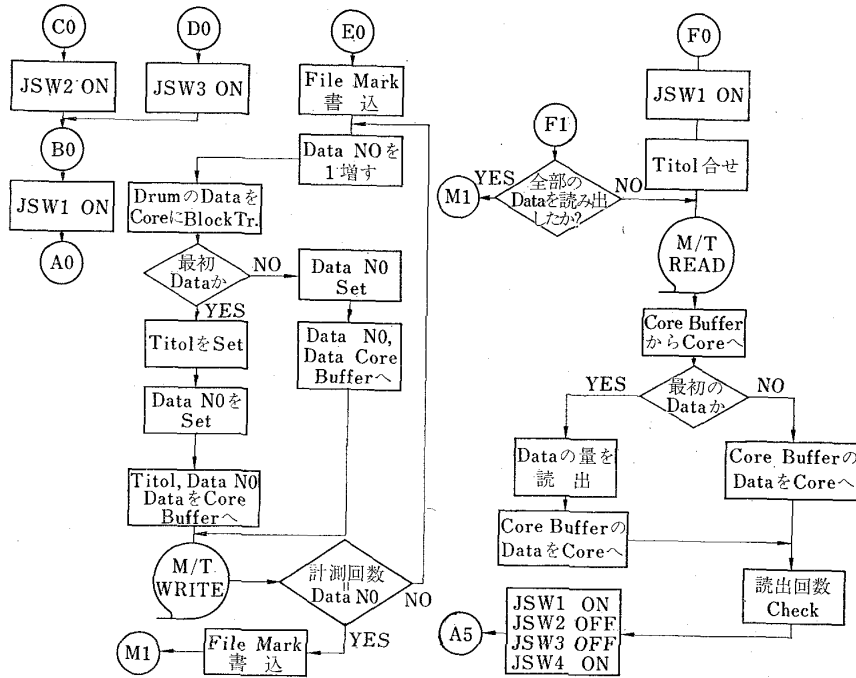


図 36 (2) フローチャート

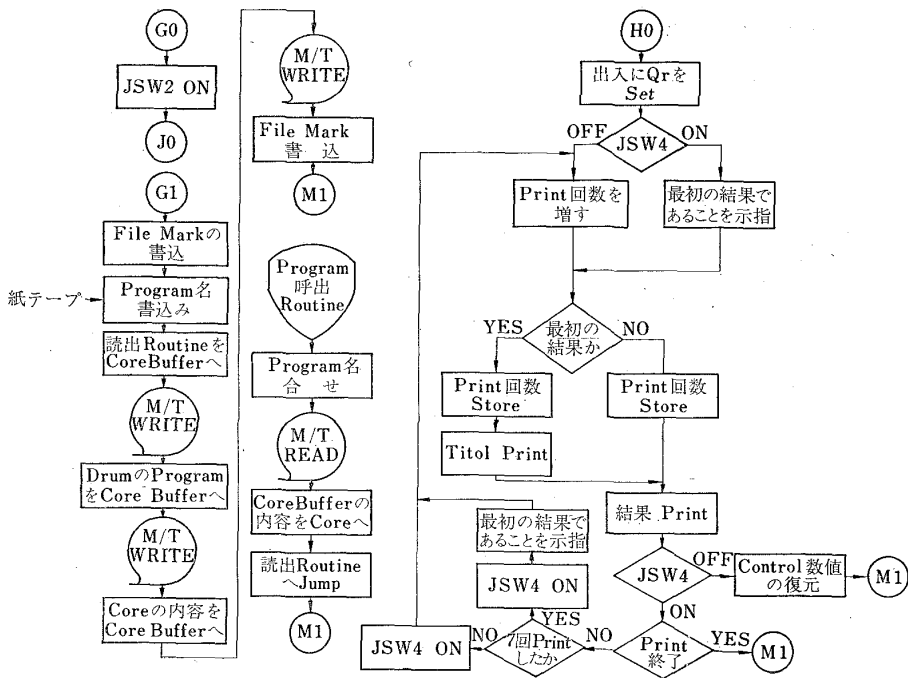
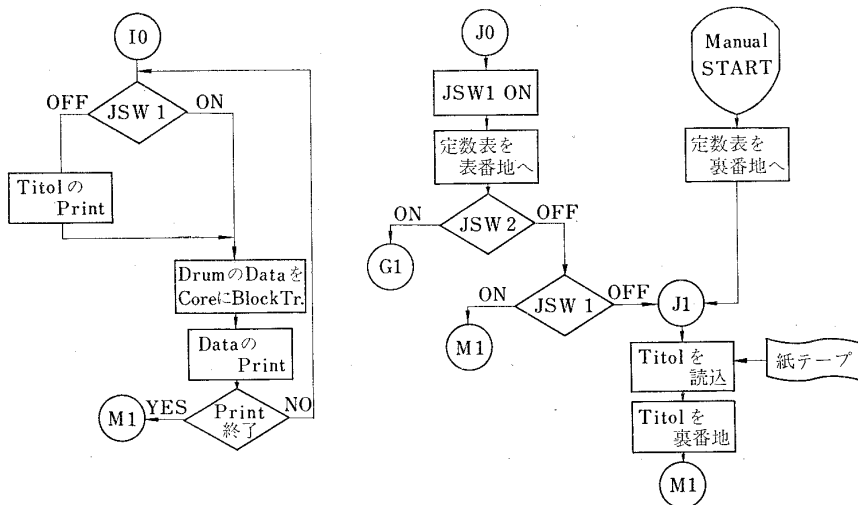


図 36 (3) フローチャート



{ Titolを変えずにProgramだけを再生する場合 J0よりSTART
 { Titolを変えてProgramを再生する場合 JSW1 ON J0よりSTART

図 36 (4) フローチャート

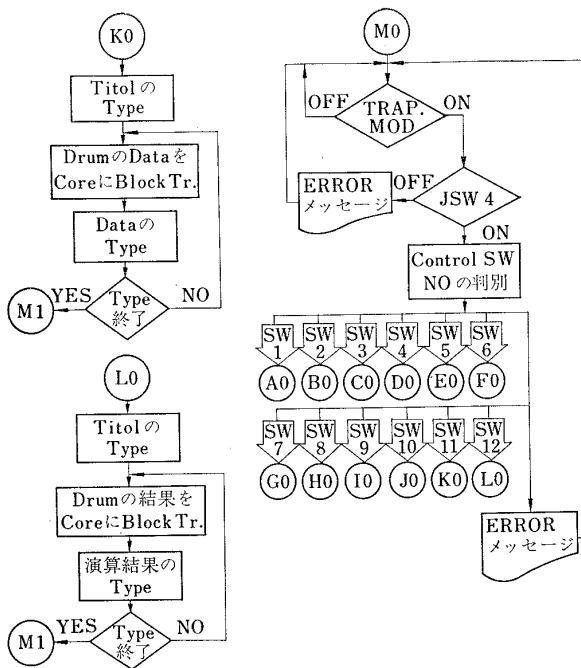


図 36 (5) フローチャート

| | | | |
|--------|--------------------------------|---------|--|
| TM-99 | 搭載機器用環境試験装置の特性 | 1967年2月 | 大月正男, 鈴木孝雄 田畑浄治, 田居繁治 |
| TM-100 | 二連型リフトエンジンの吸込み抵抗 | 1967年3月 | 近藤博, 大城章一郎 |
| TM-101 | 低圧環境下における固体ロケットモータの性能 | 1967年3月 | 望月昌, 斎藤信弥 五代富文, 伊藤克弥 湯沢克宜 |
| TM-102 | 弾性支持片持板の振動 | 1967年3月 | 埴武敏, 築地恒夫 越出慎一, 林洋一 |
| TM-103 | 結合梁の振動について | 1967年3月 | 築地恒夫, 林洋一 |
| TM-104 | 平板翼模型の固有振動モードの測定 | 1967年4月 | 中井暎一, 森田甫之 |
| TM-105 | 非定常境界層方程式を含む放物型微積分方程式の数値解法 | 1967年4月 | 関口清子 |
| TM-106 | 動安定微係数測定用風洞天秤について | 1967年5月 | 高島一明, 榊原盛三 原亘利, 北出大三 金成正好 |
| TM-107 | プロペラ後流偏向型 STOL 機の風洞試験 (II) | 1967年6月 | 犬丸矩夫, 岡部祐二郎 北村清美, 川幡長勝 高橋侔, 木村友昭 |
| TM-108 | インダクタンス型小型圧力変換器の試作とその応用 | 1967年7月 | 長洲秀夫, 柳沢三憲 |
| TM-109 | ロケットの飛しょう径路計算のためのプログラム | 1967年7月 | 戸川隼人, 石黒登美子 |
| TM-110 | 二次元スラットおよびスロツテッドフラップの実験的研究 (I) | 1967年8月 | 犬丸矩夫, 北村清美 川幡長勝 |
| TM-111 | リフトジェット VTOL 機の離陸径路に関する近似解 | 1967年8月 | 西村博史 |
| TM-112 | 極超音速風洞ペブル加熱器の特性 | 1967年8月 | 橋爪宏, 橋本登 |

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113号

昭和42年9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)44-9171 (代表)

印刷所 株式会社東京プレス
東京都板橋区桜川 2~27~12
