

大型低速風洞の動力付模型試験システム

Model with Turbine Powered Simulators at NAL's Low Speed Wind Tunnel Facility

ABSTRACT

This paper describes a test system of an 8% scale model of STOL aircraft "ASKA" with turbine powered simulators tested at the Low Speed Wind Tunnel (6.5m x 5.5m) of National Aerospace Laboratory (NAL). The purpose of the system is to achieve high accurate measurements of aerodynamic forces by eliminating piping interferences. The paper also describes performance of the piping interference elimination function and overall system test results.

Keywords: Wind Tunnel Test System, Turbine Powered Simulator, Piping Interference System, Air Bearing

概 要

この技術論文は、航空宇宙技術研究所の大型低速風洞(6.5 m x 5.5 m)における模擬エンジン付き模型の試験装置について述べる。この実験装置の目的は、配管干渉を除去することによって模型に加わる空気力を高精度で計測するものである。模型は、8% STOL 実験機「飛鳥」模型を用いた。本論文では、配管干渉除去機能と試験装置全体について説明する。

1. まえがき

大型低速風洞の動力付模型試験システムは、STOL 実験機「飛鳥」の開発プロジェクトのなかで、航空宇宙技術研究所の 6.5 m x 5.5 m 大型低速風洞(以後、風洞という)において、ジェットエンジンを模擬した動力付模型の風洞試験設備として開発したものである。STOL 実験機「飛鳥」の風洞試験に用いた模擬ファンジェットエンジン(通称 T P S : Turbine Powered Simulator、以後、エンジンという)を搭載した 8% STOL 実験機「飛鳥」全機模型(以後、模型という)は、エンジンの動力源に高圧空気を使用している。

本試験システムは図 1-1 の概要図に示すように、既設の高圧貯気槽(乾燥空気; Max 2.0MPa)設備から風洞測定部までの高圧空気供給設備からなる配管系、測定部内の既設の大型低速風洞用ピラミッド型 6 分力天秤(以後、天秤という)とそれに併設したフレキシブル圧力配管機能を有する配管干渉除去装置系、支柱配管に取り付けられた模型・エンジン系およびエンジンの回転数制御を行う制御系とからなる。特に高圧空気をエンジンに供給するには、天秤にフレキシブル圧力配管機構を併設して配管干渉を小さくし、精度の高い 6 分力計測が出来るようにすることが重要である。圧力配管は動かす必要のない部分については鋼管を用い、可動部分や複雑な管路部分には結合が容易なフレ

キシブル圧力配管(高圧ゴムホースやベローズ等)を使用することになる。天秤に併設するフレキシブル圧力配管(両端固定)では、圧力調整(エンジン推力調整)によって起こる配管の伸縮等による応力歪みが天秤に影響を与えることになるため、応力歪みが起きない配管干渉除去機構なるものが必要である。

従来、風試で使用していた上述の配管干渉除去機構には、図 1-2 に示すように複数の短い高圧ゴムホース(50)を複数のエルボで結合して山字型に組み合わせた直結型高圧ゴムホース方式を用いていた。また、エンジン推力調整(エンジン回転数制御)には配管系の本管上流に手動式の圧力制御バルブを設け、直接バルブ操作によって供給圧を調整していた。そのために、供給圧(内圧)設定毎に天秤に併設した配管干渉除去機構の高圧ゴムホースは伸縮を繰り返す、その都度複雑な歪みが天秤に干渉して空気力測定に多大な影響を与えていた。特に高圧ゴムホースには、経年変化や温度変化においてゴム素材の弾性が変化するために、組込時に、天秤に大きな歪みを与えないように調整が必要であった。また、風試時においては模型の姿勢変更毎に高圧ゴムホースが微妙に変位・変形するため、天秤に影響を与え、力測定におけるヒステリシス現象や零点の戻り等の再現性に問題があった。これらの諸問題における配管干渉力は力測定データのうちの大きな割合を占めることとなり、測定精度に多大な影響を与えていた。そのため、風試では

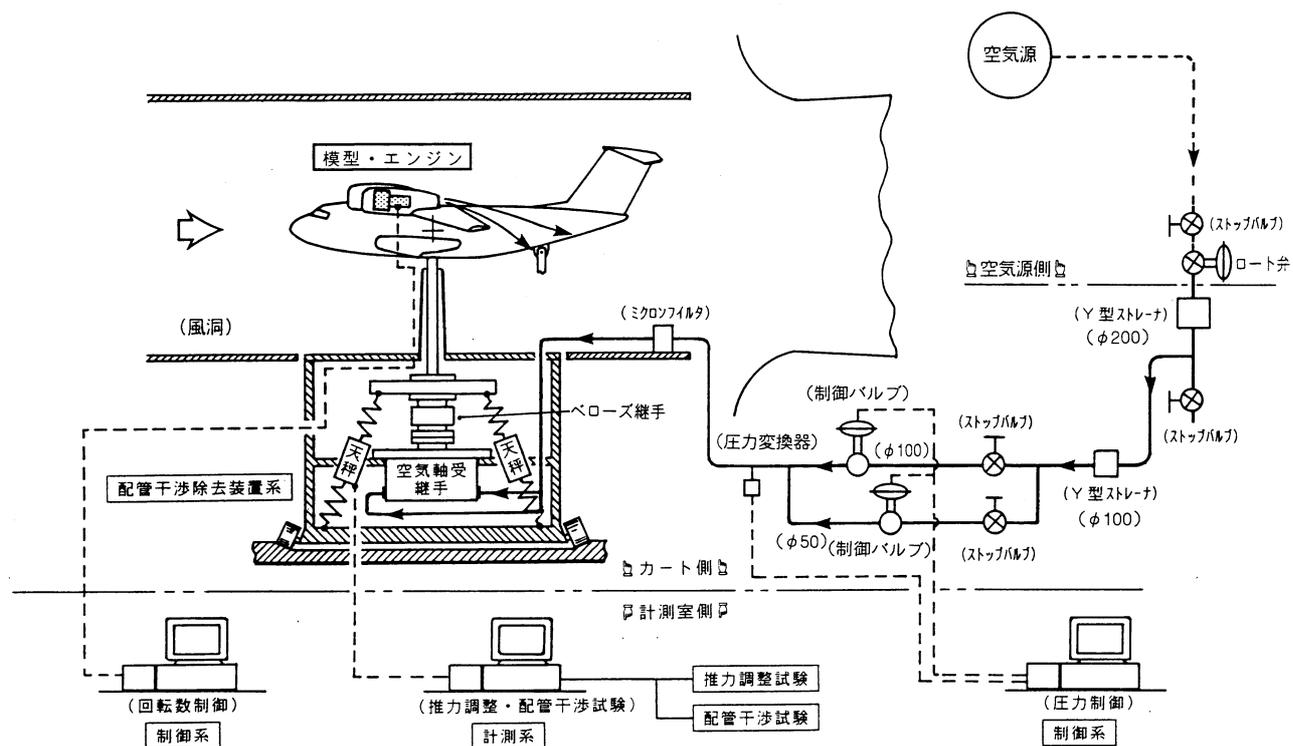


図 1-1 大型低速風洞の動力付模型試験システムの全体構成図

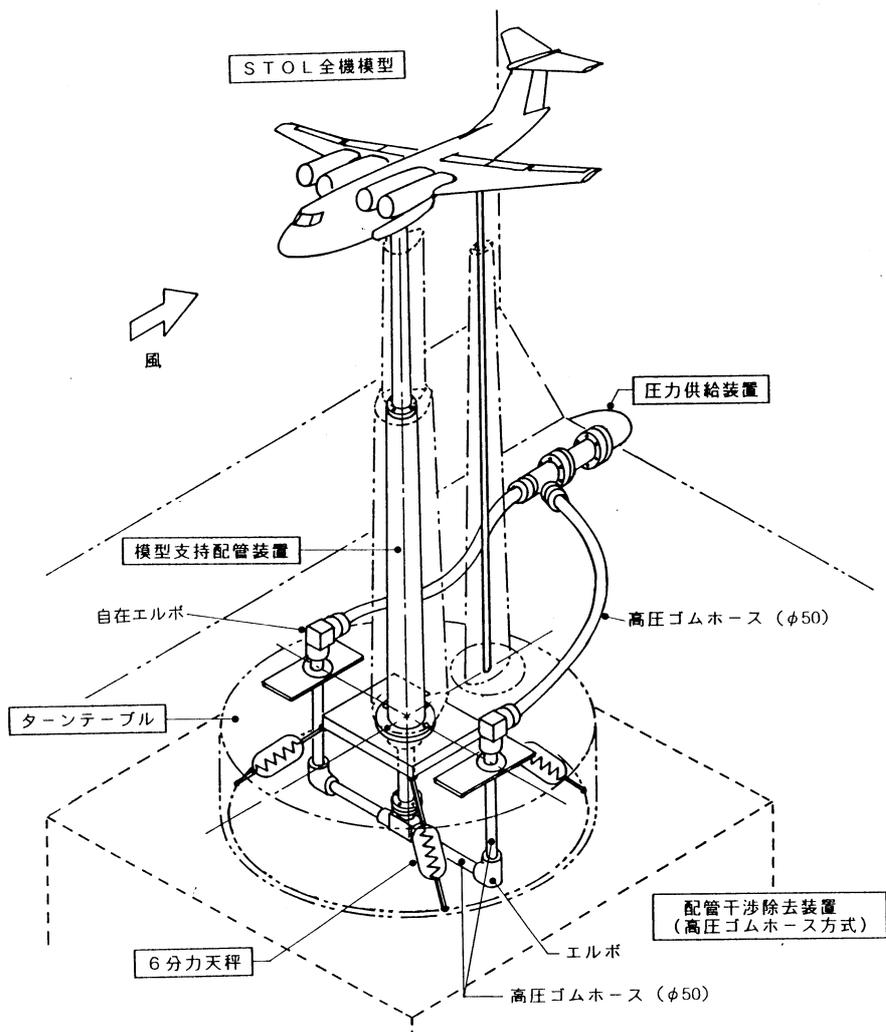


図 1-2 従来型、配管干渉除去装置(ゴムホース方式)の概要図

測定精度を確保するために、エンジン運転に必要な配管の供給圧力のもとで、 α スweepによる校正試験を実施し、高圧ゴムホースの干渉補正係数を算出してデータ補正を行っていた。特に微小空気力測定が要求される横すべり (α スweep) 時の各モーメント(横揺、偏揺)と横力測定試験結果 1) では、上記のような零点の戻り具合、原点に対しての非対称性等の再現性および精度上の問題があることが確認されている。

そこで、問題がある高圧ゴムホース方式の配管干渉除去機構部にかわり、それらの問題解決が可能な技術として空気軸受方式による非接触型の偏心流体継手²⁾のアイデアがあることが知られており、この技術アイデアを発展させて4自由度の機能を有して配管干渉を極力小さくすることができる空気軸受継手本体を中心とした配管干渉除去装置が考えられる。この配管干渉除去装置は、空気軸受継手本体(4自由度機能)とベローズ継手(2自由度機能)および取付座機構の組み合わせ機構によって6自由度の動作に対応でき、圧力変化に影響されず、大流量の高圧空気を的確にエンジンに供給することができる。この配管干渉除去装置を中心に、風試における微小空気力(剥離、BLC効果、舵効き等)の高精度測定の要求に十分応えることができる動力付模型試験システム(高圧空気配管系、配管干渉除去装置系、模型・エンジン系および制御系)を構成する。動力付模型試験システムの運用には配管干渉除去装置の機能維持と試験効率の向上と利便性を得るために、配管圧力設定やエンジン回転数設定を遠隔にてコンピュータ制御できるようにすることも重要な位置付けである。

本試験システムを製作する上で各構成に要求された仕様は下記の通りである。

既設の風洞設備、ターン・テーブル内の天秤と高圧配管設備および模型に適合できること。

配管干渉力が極力小さくなること。

再現性が得られること。

エンジンへの高圧空気の安定供給と配管干渉除去装置の機能維持が容易であること。

6自由度(3並進+3モーメント)の変位が確保され、可動範囲が大きいこと。

配管干渉除去装置の空気軸受部での空気漏洩流量が少ないこと。

低圧(0.2MPa)から高圧(2.0MPa)までの広域において配管干渉除去装置が有効に機能し、且つエンジンに大流量の空気が供給できる配管路を有すること。

なお、本試験システムに適用している空気軸受継手本体の要素機能研究については、引用文献3)で詳しく述べているので参照されたい。

本報告では、製作した各システム(高圧空気配管系、配管干渉除去装置系、模型・エンジン系および制御系)の構

造、原理、機能評価試験結果等について述べることにする。

なお、本報告は、STOLプロジェクトが終了し、STOLプロジェクト推進本部が解散した後にまとめられたものである。

2. 記号及び略語

【記号】

| | |
|---------------|-----------------|
| A | 空気取入口断面積 |
| C_j | 推力係数 |
| C_m | 質量流量係数 |
| C_μ | 運動量係数 |
| D | 抗力、シール部の径 |
| h_a | 浮上量 |
| L | 揚力、シール部の長さ |
| P_s, P_a | 供給圧 |
| P_o, P_{oa} | 給気孔出口圧力 |
| Q_a | 総漏洩流量 |
| Q_j | ジャーナル軸受部からの漏洩流量 |
| Q_a | スラスト軸受部からの漏洩流量 |
| Re | レイノルズ数 |
| S | 主翼面積、横力 |
| T_j | エンジン推力 |
| U_∞ | 一様流速度 |
| q_∞ | 一様流動圧 |
| | 動粘性係数 |
| ρ | 密度 |
| a | 空気圧、面積 |
| ∞ | 一様流 |
| j | 排気ジェット |
| x | X 軸 |
| y | Y 軸 |

【略語】

| | |
|------|----------------------------|
| A | Aileron |
| AEO | All Engine Operative |
| BLC | Boundary Layer Control |
| IEI | Inner Engine Inoperative |
| Le | Leading Edge |
| OEI | Outer Engine Inoperative |
| STOL | Short Take-off and Landing |
| TPS | Turbine Powered Simulator |
| USB | Upper Surface Blowing |

3. システム

3.1 システム構成

本システムの構成の概要について述べる。

3.1.1 高圧空気配管系

高圧空気配管系は既設の高圧空気供給配管部の上流端に設けてあるロート弁の直後に大小のY型ストレーナ(フィルターの一種)を、カート床上にミクロン・エア・フィルタを設けて上流の配管内に発生したスラッジを取り除いて、配管干渉除去装置系に汚れの少ない空気を供給できるようにすることと、さらに供給配管途中にストップバルブ、制御バルブ、圧力計(圧力変換器)等を設けて配管干渉除去装置系の機能を維持する高圧空気供給に関するものである。

3.1.2 配管干渉除去装置系

配管干渉除去装置系は配管系の末端部と模型・エンジン系の支持部との間、ターン・テーブル内の天秤に非接触型の空気軸受継手を併設して、エンジン回転制御時や模型姿勢変化(ターン・テーブル動作)時においても配管干渉を極力小さくできる。フレキシブル配管継手の機構に関するものである。

3.1.3 模型・エンジン系

模型・エンジン系は、配管干渉除去装置系より支柱配管を介して模型内に高圧空気の供給を受け、各エンジン(4発)と各BLC(翼前縁と後縁)に独立した供給配管に、各エンジン回転数制御に用いる流量制御バルブ機構と各BLCの流量設定に用いる手動バルブの各機構部に関するものである。なお、エンジン回転数制御用の各流量制御バルブはコンピュータによる遠隔操作が行えるようになっている。

3.1.4 制御系(圧力制御、回転数制御)

制御系は、配管干渉除去装置の機能維持に必要な本管の元圧安定用の制御バルブと各エンジンへの流量を調節するエンジン制御バルブの操作を同時にコンピュータによる遠隔操作が行えるようにした制御に関するものである。

3.2 高圧空気配管系

図 1-1 の全体構成図をもとに説明する。高圧空気配管系の既設の部分は、空気源(乾燥空気最大 2.0MPa)からの長い埋没大口径鋼管(200)の部分のうち大型低速風洞設備のストップバルブを介して大型のロート弁(200)に至るまでである。その大型のロート弁の出口側に、新規に大型のY型ストレーナ(200のフィルタ)と中口径(100)のT字異径管を設けて圧力配管(100鋼管)で屋内に配設

し、さらに屋内の入口でもう1段、中型のY型ストレーナ(100の粗フィルタ)を設けて風洞へと配設する。配設した圧力配管(100)の途中を分岐して中口径(100)と小口径(50)の2系統の管路を確保して、それぞれにストップバルブと圧力制御バルブを設ける。その後、小口径管路を元の圧力配管(100)に合流させて1系統にして圧力変換器を取り付けた配管部を介して測定部に導入してミクロン・エア・フィルタに接続している。途中分岐した中口径(100)の配管路は粗い圧力制御に適用し、小口径(50)の配管路は細かい圧力制御に用いる。

3.2.1 Y型ストレーナ

配管系に設けた上流部の200型のY型ストレーナと下流の100型のY型ストレーナのフィルタ部には、それぞれ50メッシュのステンレス網が入っていて、2段構えによる沈殿効果等で上流に発生した約50ミクロン以上のスラッジを取り除くことができる。

3.2.2 圧力制御バルブ

分岐され2系統の圧力配管(100と50)に設けられた圧力制御バルブは、弁開閉の動力源に空気圧(基準圧力、0.14Mpa)を使用し、ダイヤフラムに加わる空気圧を電磁制御バルブでコントロールする電源/空気圧変換型のバルブポジション方式のものである。そのために、制御バルブのコントロールは、電流線形制御で行われる。制御方法については、3.5節の制御系にくわしく述べる。

3.2.3 圧力変換器

圧力変換器は、配管干渉除去装置に機能を維持するために供給圧を一定に保つための圧力検出するために用いているものである。既設の高圧貯気槽からの供給元圧変化とエンジンへの供給負荷によるバック圧変動(エンジン推力変化)に対応した配管内の供給圧変化を電気信号に変換して、コンピュータに取り込めるようにしたものである。なお、測定圧は0~2.0MPaである。

3.2.4 ミクロン・エア・フィルタ

ミクロン・エア・フィルタは、上流部の2段構えのY型ストレーナで取り除くことが出来ない50ミクロン以下のスラッジに対応のものである。

3.3 配管干渉除去装置系

配管干渉除去装置は風洞測定部のターン・テーブル内に、高圧空気を供給する配管とエンジン付全機模型との間に設置して、配管干渉を取り除く機構の中心となるものである。特に、3.2.1に記載したように高圧ゴムホース組合せ方式に換えて、空気軸受方式による非接触型配管継手の

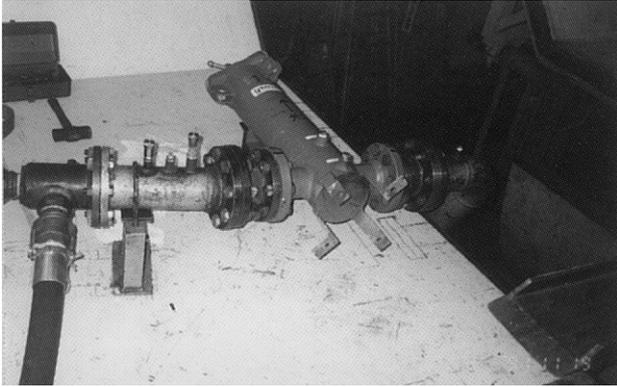


写真 3.2-1 測定部に設けたミクロン・エア・フィルタ (横設状態)

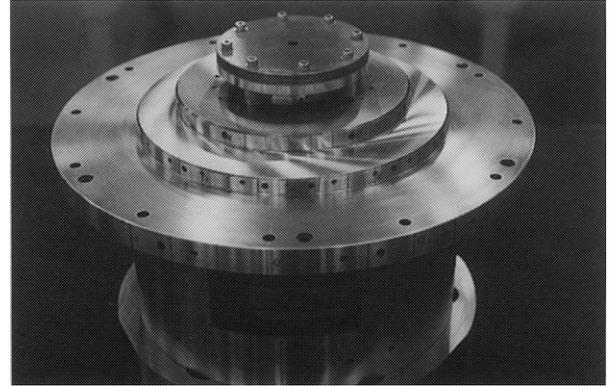


写真 3.3-1 空気軸受継手の組立外観

適用と、その継手機能を維持するために必要な種々の機構とからなっている点の特徴である。特に配管干渉除去装置の非接触型の空気軸受継手は、空気軸受部の空隙部分が 15 ~ 20 ミクロンで加工してある。その空気軸受部の空隙部分の機能を維持するには、Y型ストレーナによるフィルタ能力では無理があり、1 ミクロンまでの除去能力があるフィルタ装置(ボルストーン製)を使用している。測定部に設けられたミクロン・エア・フィルタを写真 3.3-1 に示す。また、装置にはターン・テーブル内に高圧空気を導入するために一部ゴムホースを用いており、ターン・テーブル回転によるホースの移動や内圧変化等によるホース歪み、また天秤に併設する空気軸受継手の複雑な機構が配管干渉として天秤に影響を与えないようにすると共に、大流量の高圧空気を模型に供給する管路としての役目を持たせている。

表 3.3-1 配管干渉除去装置の構成と重量

| 区 分 | | 重量 (kg) |
|----------|-----------------------------------|---------|
| 装置構成 | 要素機構部 | |
| 圧力供給装置 | ① 圧力容器 (エルボ+高圧ゴムホース(6本) 含、2組分) | 200 |
| | ② 取付板 (A+B) (2組分) | 120 |
| 空気軸受継手装置 | ③ 空気軸受継手本体 | 132 |
| | ④ ベローズ継手 | 10 |
| 模型支持配管装置 | ⑤ 支柱取付台 | 587 |
| | ⑥ 支柱配管 | 416 |
| | ⑦ 継手取付台 | 31 |
| 合計 | | 1,496 |

3.3.1 機能と構成

[全体構成]

配管干渉除去装置の全体構成は、図 3.3-1 の風洞のターン・テーブル(6分力天秤)内に設置した本試験システムの構成説明図に示すように、大きく分けて圧力供給装置(フィルタ、ゴムホース、圧力容器等)と空気軸受継手装置(空気軸受継手本体、ベローズ継手)および模型支持配管装置(支柱取付台、支柱配管等)の3つの要素機構からなっている。なお、各要素機構はターン・テーブルの上蓋と内部のスペースに設置し、取り付け、取り外しが可能なシステム構成になっている。各要素機構の重量諸元を表3.3-1に示す。

(a) 圧力供給装置の機能と構成

圧力供給装置は上流の圧力配管系から高圧空気(最大2.0MPa)の供給を受け、ミクロン・エア・フィルタを介してターン・テーブルの左上蓋からバランス良く高圧空気を空気軸受継手装置に供給して機能を維持するためのものである。

装置の構成は、ミクロン・エア・フィルタ、高圧ゴムホー

ス、自在エルボおよび圧力容器等からなっている。カート床上のミクロン・エア・フィルタまでは高圧鋼管(100)が用いられていて、フィルタ出口には直管に二股管を設けて2本のゴムホース(50)接続、自在エルボを介してターン・テーブルの左上蓋から圧力容器(一対)に高圧空気を供給できるようにしてある。さらに各圧力容器と空気軸受継手装置の給気アダプター(空気供給口)とを各3本のゴムホース(25)で結合している。また、ミクロン・エア・フィルタ以後に発生した配管内の鉄錆等は、圧力容器内に磁気フィルタ(永久磁石+ステンレス細網)を設けて、空気軸受継手の機能が損なわれないように工夫が施してある。

(b) 空気軸受継手装置の機能と構成

図 3.3-2 ~ 図 3.3-8 をもとに空気軸受継手装置の機能と構成について詳しく述べることにする。

空気軸受継手装置は配管干渉除去装置の心臓部であり、天秤中心軸の近傍に併設し、模型に複雑な空気力が作用し

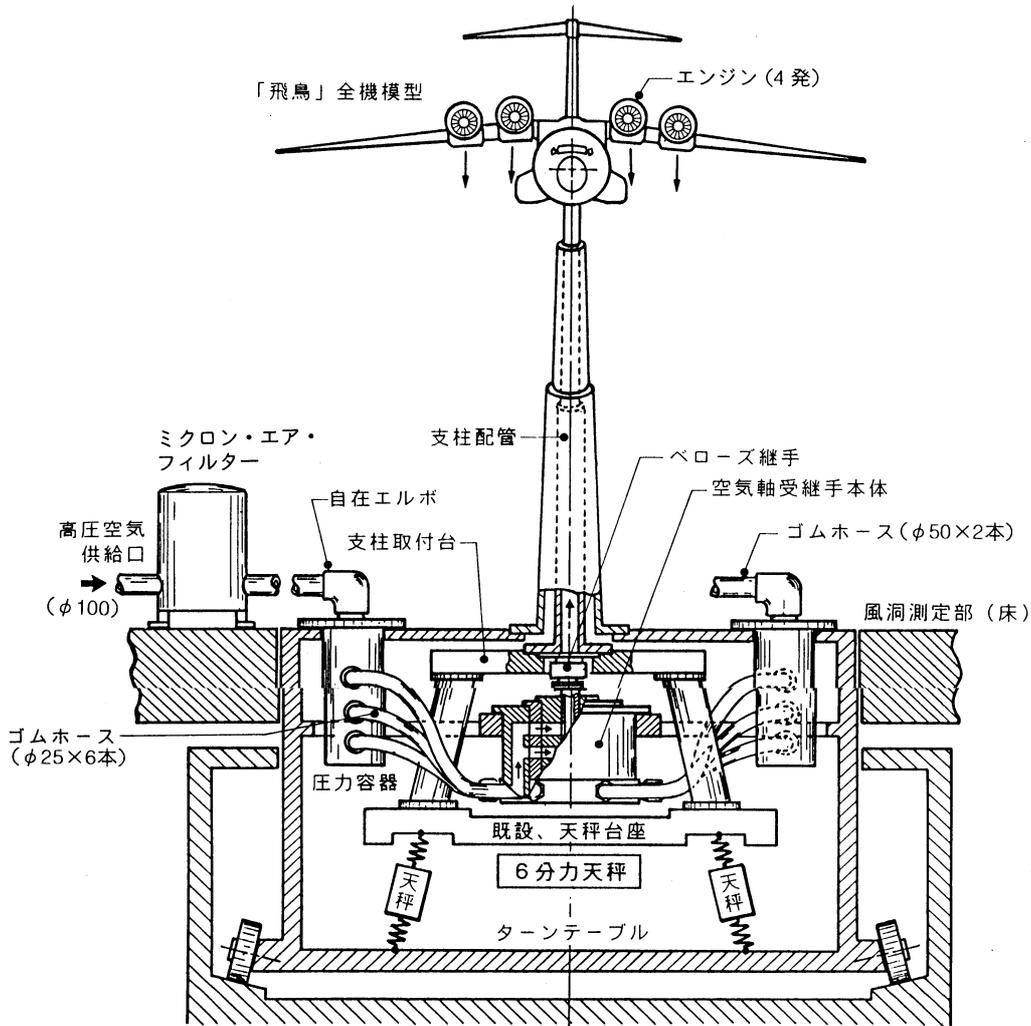


図 3.3-1 大型低速風洞のターンテーブル(6 分力天秤)内に併設した本試験システムの機構説明図

て天秤が変位しても、非接触で高圧空気配管継手としての機能維持しつつ、天秤へ影響を及ぼさなくなっている。空気軸受継手装置の構成は、図 3.3-2 に示すように、3軸(X、Y、Z)並進とZ軸回りの4自由度の受動型低摩擦回転機能を有する空気軸受継手本体と、X軸回りとY軸回りの2自由度のフレキシブル機能を持つベローズ継手からなっている。高圧空気の流れは、矢印に示すように空気軸受継手本体下部の給気アダプターから装置内に入り、軸受基盤、外側偏心浮軸、内側偏心浮軸、出力軸筒の順に流れ、ベローズ継手を通して模型支柱配管装置(模型)へと導かれる。

(i) 空気軸受継手本体

空気軸受継手本体の4自由度における基本構成と機能については文献3に詳しく述べているので、本節では既設のターン・テーブル内の限られた空間に設けた継手本体と天秤との係わり合い等について述べることにする。

継手本体の機構は図 3.3-2 ~ 図 3.3-8 に示すようにターン・テーブルの桁に固定する軸受基盤(フランジ付き)に外

側偏心浮軸(フランジ付き)内側偏心浮軸(フランジ付き)および出力軸筒を順に重合挿着した構成と軸受基盤の下部に設けた高圧空気導入用の給気アダプターからなっている。内側偏心浮軸と外側偏心浮軸は、それぞれの内周面と外周面の各中心軸線が同芯円上ではなく、一定量偏心させてあり、円筒の肉厚が不均一となっている。なお、肉厚の不均一性による回転アンバランスを解消するために肉厚部分に複数の穴(垂直穴)をあけてバランスを取っている。次に各偏心浮軸の偏心量について述べる。内側偏心浮軸は内周軸芯Q(出力軸筒の軸心と一致)と外周軸芯Oを偏心(偏心量は15mm)させている。また外側偏心浮軸は内周軸芯O(内側偏心浮軸の軸心と一致)と外周軸芯Pを偏心(偏心量は15mm)させた同様な偏心軸筒を構成している。また、内側と外側偏心浮軸の各上部には自重分を浮かせて回転低摩擦を確保するためにフランジを設けてスラスト軸受部(空気浮上潤滑面)を構成している。各偏心浮軸の各フランジ側面には、スラスト軸受部の空気吐出孔の一部に圧力リーク調整ネジ(微穴付)を設けて吐出圧を調整出来るよう

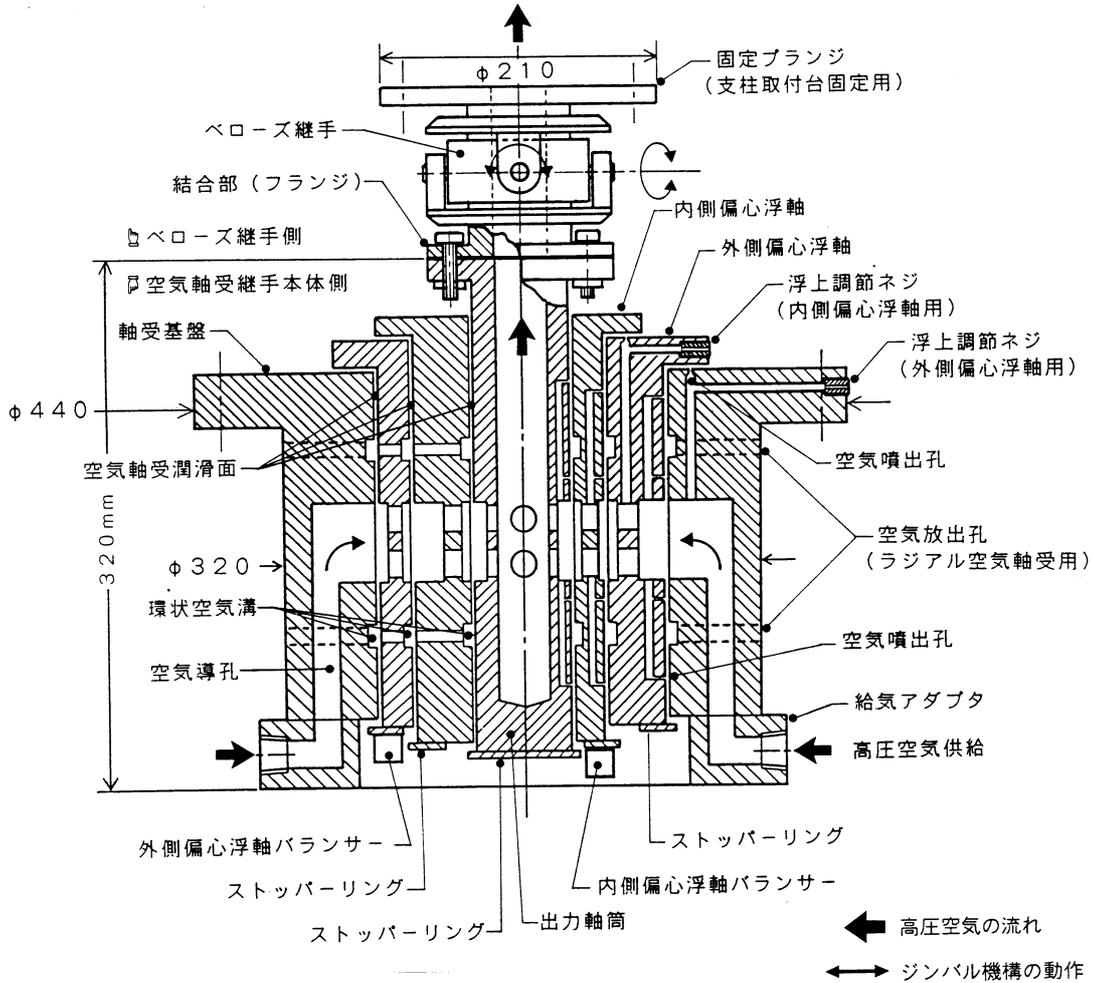


図 3.3-2 配管干渉除去装置、空気軸受継手とベローズ継手の概要図

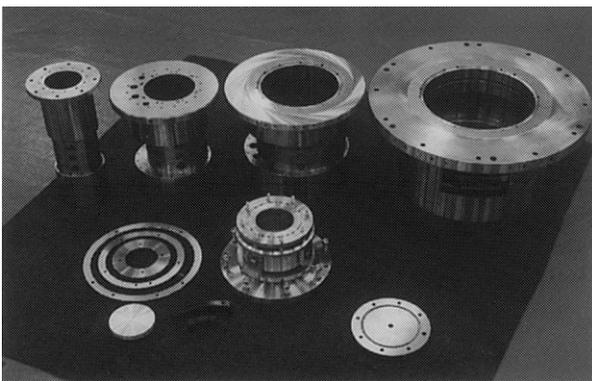


写真 3.3-2 (1) 空気軸受継手の構成部品(上部より)
[ベローズ継手(中央)含む]

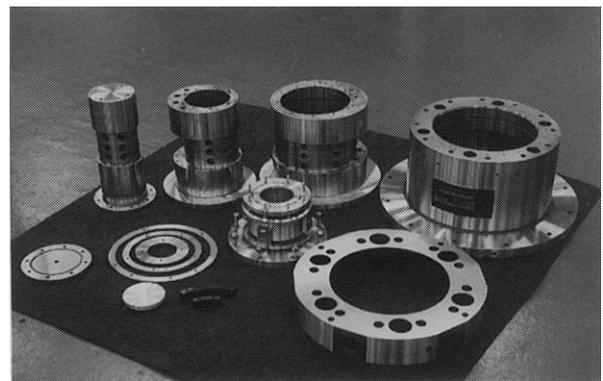


写真 3.3-2 (2) 空気軸受継手の構成部品(下部より)
[給気アダプタ(右下)含む]

にし、動作時における空圧振動を防止する工夫が施してある。各空気軸受機構(ラジアル軸受とスラスト軸受の組合せ)の回転低摩擦機能を維持するためには、各空気潤滑面の隙間から常に一定量の空気を放出することが必要である。

空気軸受継手の各寸法諸元は、表 3.3-2 に示し、組立外観を写真 3.3-1 に、構成部品を写真 3.3-2(1)、3.3-2(2)と図

3.3-3 に示す。

(ii) ベローズ継手

ベローズ継手は図 3.3-5 に示すように、空気軸受継手本体の機構では達成できない 2 自由度{ X 軸回りのモーメント(M_x)、Y 軸回りのモーメント(M_y)}の確保と高圧配管の機能を持たせている。その機構は 5 段絞りの高圧ベ

表 3.3-2 空気軸受継手とベローズ継手の仕様

| 空気軸受継手装置本体 [使用圧力 (5~20 kg/cm ²)、耐圧 (30 kg/cm ²)、材質 (ステンレス)] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|--------------------------------|-----|----|----------|-------------------------------|-----|-----|------|----------|-----------|-----|----|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 区 分 | 形 状 | | | ジャーナル軸受部 (mm) (空気軸受⇒空気潤滑方式) | | | | スラスト軸受部 (mm) (空気軸受⇒空気潤滑方式) | | | | | シール部 (mm) | | | | | |
| | 重量 (kg) | 外径 (mm) | 内径 (mm) | 部位 | 直径 | 長さ | 給気 孔径 | 個数 | 外径 | 内径 | ピッチ径 | 給気 孔径 | 個数 | 直径 | 長さ | すきま | | |
| 出力軸筒 | 6.0 | 100 | 50 | 上部 | 100 | 47 | 0.3 | 24 | — | — | — | — | — | 100 | 30 | 0.015 (出力軸筒と 内側偏心浮軸間) | | |
| | | | | 下部 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | | | — | |
| 内側偏心浮軸 | 14.5 | 156 | 100 | 上部 | 156 | 35 | 0.3 | 36 | — | — | — | — | — | 156 | 30 | | 0.015 (内側偏心浮軸と 外側偏心浮軸間) | |
| | | | | 下部 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | | | | — |
| 外側偏心浮軸 | 23.0 | 220 | 156 | 上部 | 220 | 25 | 0.3 | 48 | 215 | 170 | 190 | 0.3 | 24 | 220 | 30 | | | 0.020 (外側偏心浮軸と 軸受基盤間) |
| | | | | 下部 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | | | | |
| 軸受基盤 | 88.5 | 320 | 220 | — | — | — | — | — | 285 | 235 | 258 | 0.3 | 24 | — | — | — | | |

| 区 分 | 重量 (kg) | 外径 (mm) | 高さ (mm) | 材 質 | ベローズ (形状・段数) | 使用圧力 (kg/cm ²) | 耐圧 (kgf/cm ²) | 使用曲げ角度 (deg) | 曲げバネ定数 (kg-m/deg) |
|--------|------------|------------|------------|-------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------|
| ベローズ継手 | 10.0 | 210 | 120 | ステンレス | 波形・6 段 | 0 ~ 20 | 40 | 2 | 33 |

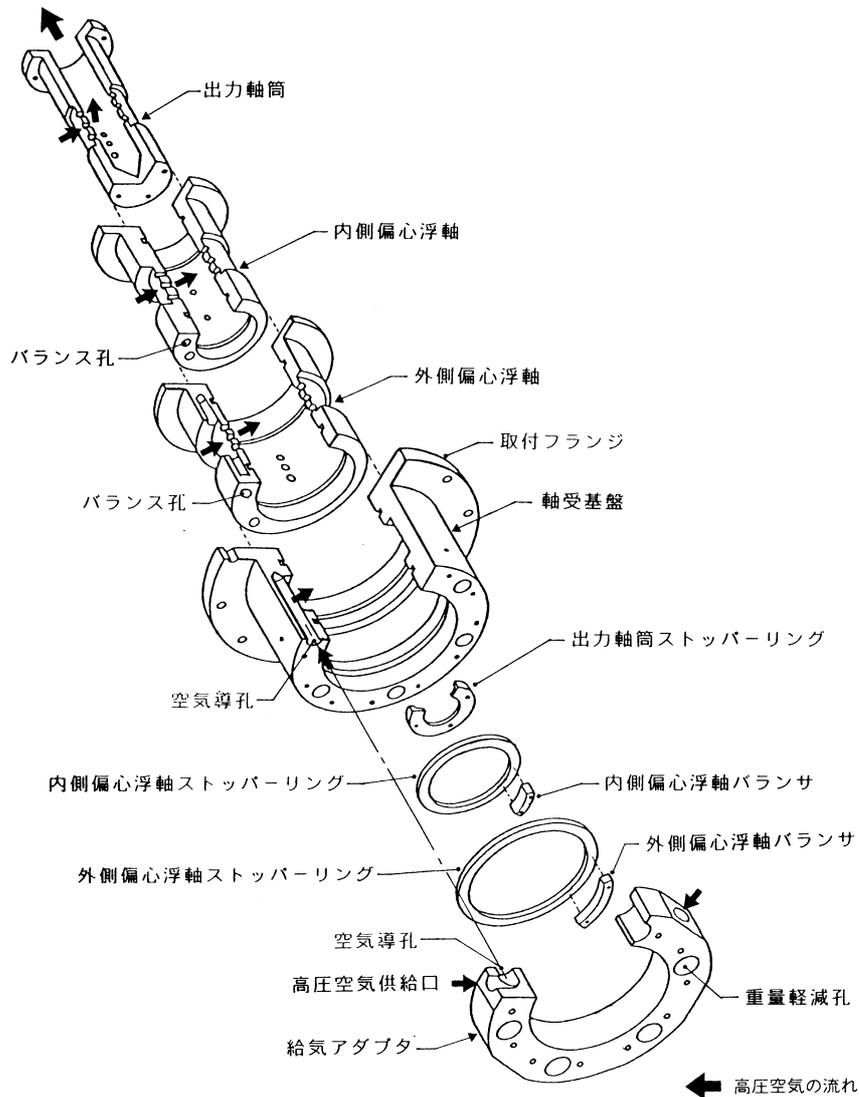


図 3.3-3 空気軸受継手本体の展開図

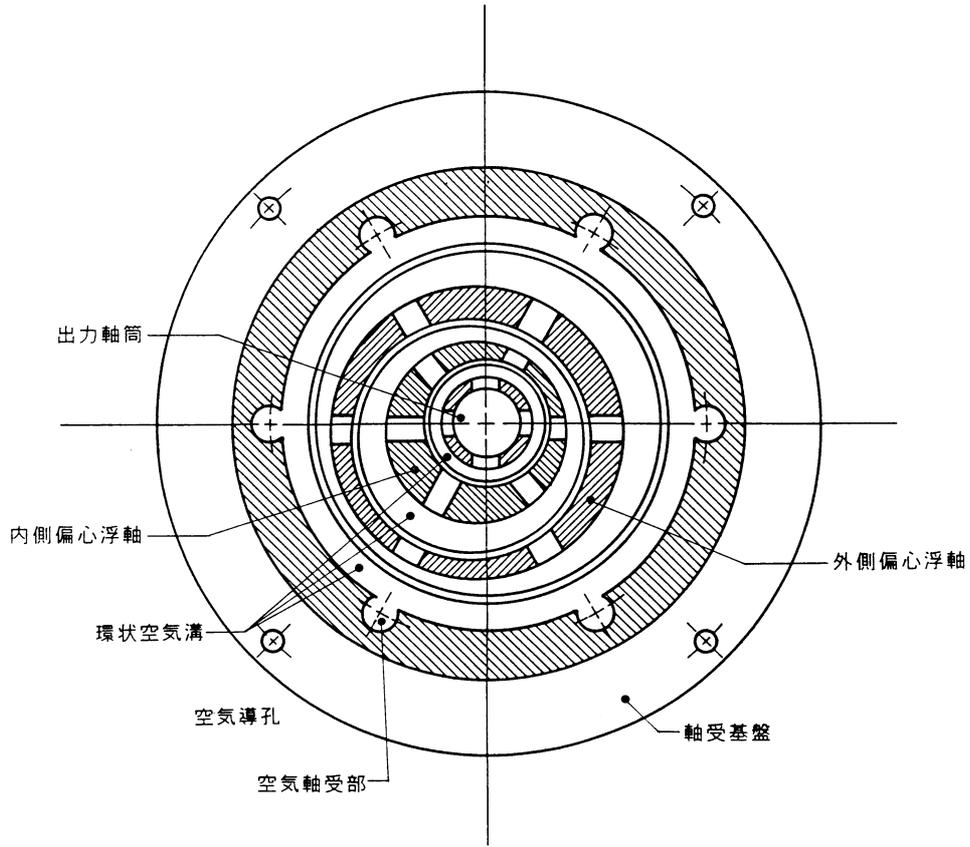


図 3.3-4 空気軸受継手本体の水平断面概要図

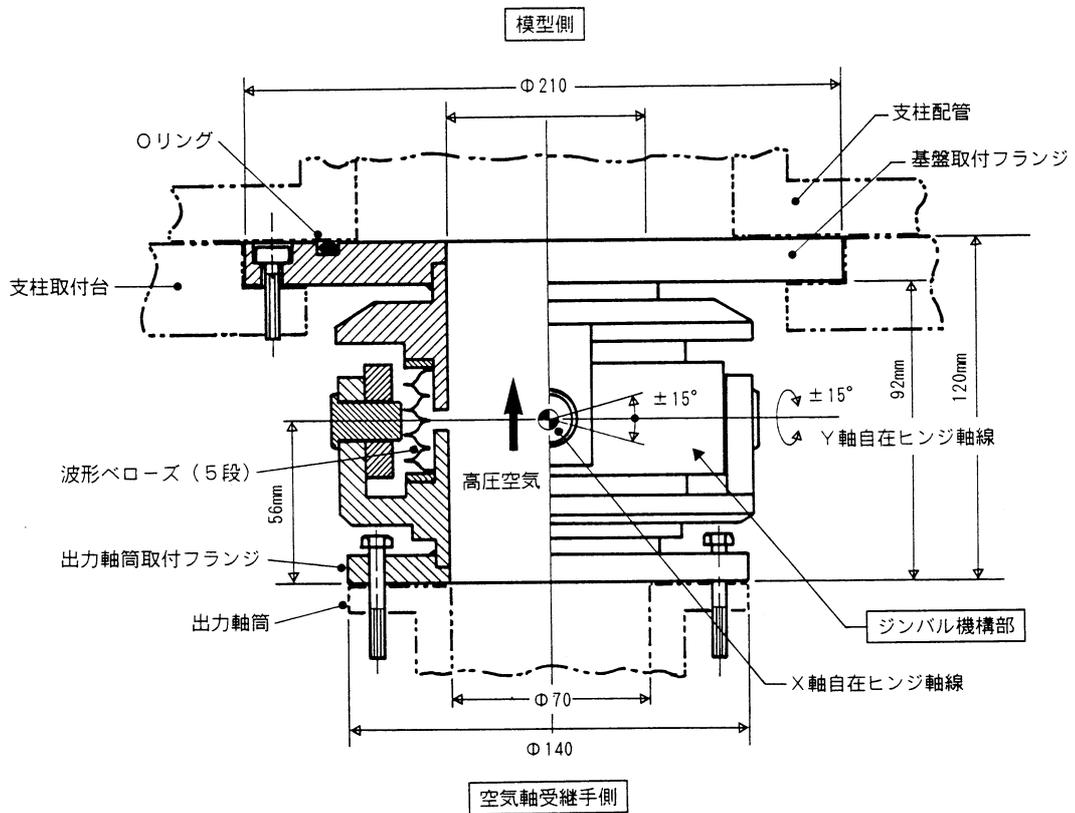


図 3.3-5 ベローズ継手の詳細概要図

ローズ(ステンレス製の波蕪ベローズ)の上下にフランジを溶接し、さらに上下フランジ間に2軸(X、Y)回りのジンバル機構を設けて上下の伸縮を抑え、曲がりの柔軟性を持たせている。

ベローズ継手の設置は、上部フランジを支柱取付台と支柱配管のフランジとの間に空気シール材(リング)を設けて挟むようにして固定して、下部フランジに出力軸筒を吊着する。ここで、ベローズ継手と出力軸筒は、支柱取付台を介して天秤に吊着している。

(c) 模型支持配管装置の機能と構成

模型支持配管装置は空気軸受継手本体からの高圧空気を模型に供給する高圧空気配管機能と模型に加わる空気力を天秤に屯える支持機構となっている。模型支持配管装置は支柱取付台と支柱配管からなり、図 3.3-1 に示すように既設の天秤台座(3本支柱方式の左右取付台座を使用)に門型の支柱取付台を空気軸受継手本体を跨ぐ格好で気流に対して直角に設置し、台の上面中央に模型を取り付ける支柱配管を垂設し、下面側にベローズ継手(出力軸筒を取り付けた状態)を吊設して、空気軸受継手本体からの高圧空気を模型側に供給出来るようになっている。なお、空気軸受継手本体を支える軸受基盤はターンテーブルの桁に固定されている。

3.3.2 動作原理

前節で述べたように、天秤は風洞軸中心を頂点としたピラミッド型の6分力天秤であり、模型に加わる6分力(揚力、抗力、横力、縦揺モーメント、横揺モーメント、偏揺モーメント)によって歪んだ変位量を複数のロードセルで計測、解析する方式のものである。配管干渉除去機能を有する最も重要な空気軸受継手装置の設置場所は、風洞軸中心から約 4.1 m 下のターンテーブル内である。この位置における空気軸受継手装置は、模型に空気力(6分力)が加わると、当該装置のベローズ継手と吊着した出力軸筒が天秤の歪み範囲内で変化することになる。まず、6分力の配管干渉を取り除く動作機能について述べる。模型に6分力が作用すると天秤が変位するとともに2自由度の機能を有するベローズ継手が曲がりながら吊着した出力軸筒にも力が作用し、内側偏心浮軸と外側偏心浮軸をそれぞれ回転させて、作用力がなくなるまで一定の範囲内で動くことになる。空気軸受継手本体には4自由度(X、Y、Z軸の3並進移動+Z軸回りの回転)の機能があり、4分力{X、Y、Z軸の3並進力+Z軸回りのモーメント(M_z)}に付いての配管干渉除去に対応できる。また、残りの2分力{2軸回りのモーメント(M_x 、 M_y)}の配管干渉を除くには、空

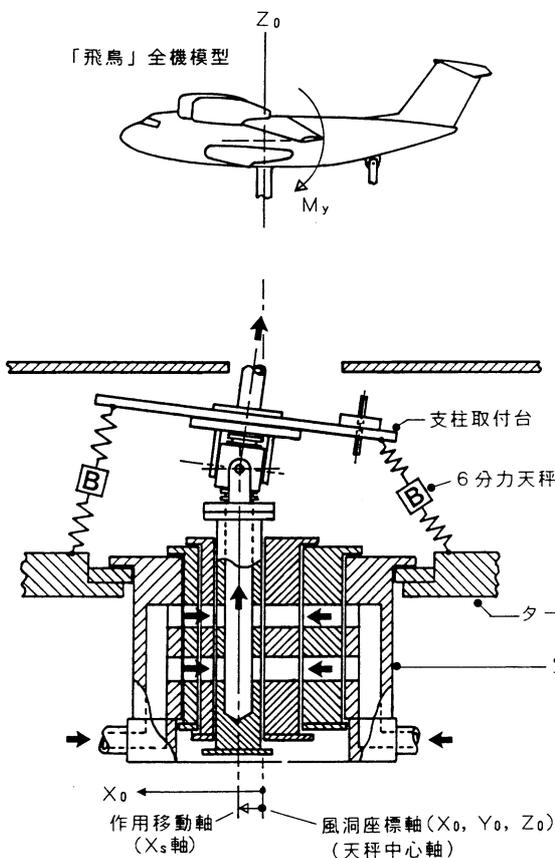


図 3.3-6 配管干渉除去装置の適用動作概要図(縦方向)

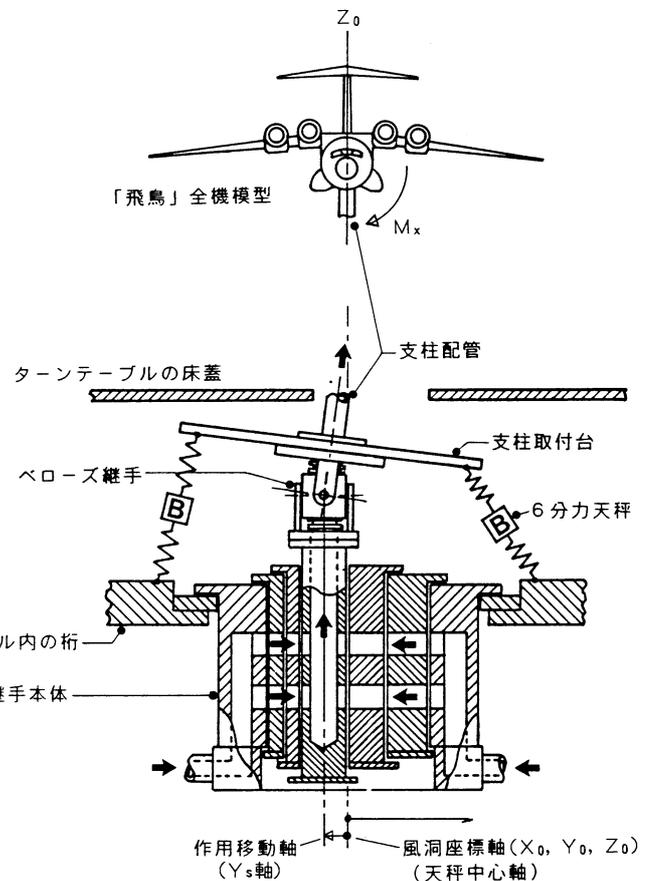


図 3.3-7 配管干渉除去装置の適用動作概要図(横方向)

気軸受継手本体の機能にペローズ継手の2自由度(X軸とY軸回りの曲げ)の機能を加えることで達成できることになる。空気軸受継手本体による4分力の配管干渉除去については文献3に詳しく述べているので、ここでは空気軸受継手本体とペローズ継手の両機能を適用する必要のある2分力(M_x 、 M_y)の配管の干渉力を小さくする動作の概要について図3.3-6と図3.3-7および図3.3-8をもとに説明する。天秤のZ軸上に出力軸筒(配管干渉除去装置)の中心を一致させた初期設定座標を X_0 、 Y_0 、 Z_0 とし、模型に力が作用して出力軸筒が移動した座標を X_s 、 Y_s 、 Z_s とする。まず、図3.3-6に示すように、模型に縦揺れモーメント(M_y)が作用すると天秤に直結したペローズ継手と出力軸筒が振り子状に前方に動こうとするが、出力軸筒は空気軸受継手の空気軸受機能から垂直状態をと保つことになるため、おのずとペローズ継手が曲がり、出力軸筒に作用力(黒矢印)が発生して内側偏心浮軸(左回転)と外側偏心浮軸(右回転)を回動させて作用力がなくなりバランスした状態になり、出力軸筒が座標 X_0 から座標 X_s に移動して配管干渉が除かれたことになる。

次に、図3.3-7に示すように横揺れモーメント(M_x)が発生した場合について述べることにする。前記縦揺れモー

メント(M_y)の動作と同様に出力軸筒に作用力(白矢印)が発生して、それぞれの偏心浮軸(右回転)が同方向に回転して、作用力がなくなりバランスした状態になり、出力軸筒が座標 Y_0 から座標 Y_s に移動して配管干渉が除かれたことになる。なお、各偏心浮軸の回転は、微小の6分力においてもスムーズに回転できるようにバランスを取ってある。また、出力軸筒の可動範囲は、天秤の歪み範囲に合わせて十分余裕を持たせてある。

3.3.3 空気軸受継手本体の取付け条件

上記で述べたように、6分力の微小力においても安定した配管干渉除去機能が得られるようにするには、予め天秤の歪み範囲に対して、出力軸筒が一番可動しやすい可動領域を設計に反映させておくこと、および、この条件に合うように空気軸受継手の内側偏心浮軸と外側偏心浮軸の初期設定位置を決定することが重要である。

実際に適用した取付け条件について図3.3-8をもとに説明する。出力軸筒の2次元平面内(X-Y面)の微小動作に対応できる初期設定位置は、内側偏心浮軸と外側偏心浮軸の双方に均等な回転モーメント力を発生させ得る組み合わせ位置とし、その初期設定位置の座標(X_0 、 Y_0 、 Z_0)を

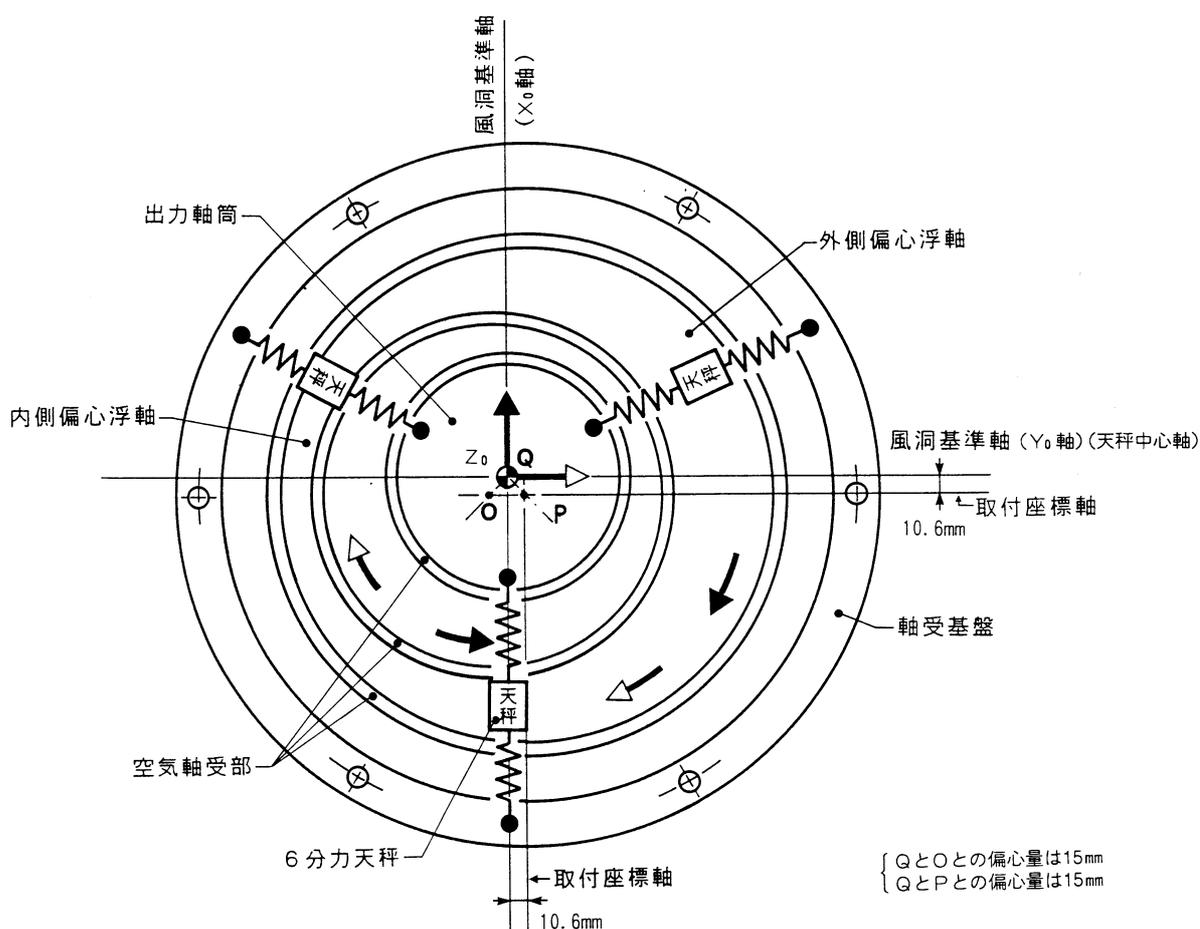


図 3.3-8 継手本体と天秤の取付位置関係

天秤の座標のZ軸線上に合わせることが重要となる。ここで、出力軸筒の作用方向と内側偏心浮軸と外側偏心浮軸の組合せ位置における回動の容易さについては、文献3で詳しく述べてあるので省略する。

空気軸受継手本体の取付座標軸中心P点(外側偏心浮軸中心と同じ)に関しては、内側偏心浮軸中心O点を同Y軸線上に位置させ、さらに出力軸筒の座標軸中心Q点(作用軸)をP点とO点の2等分線上に設け、内側偏心浮軸と外側偏心浮軸の双方に均等な回転モーメント力が発生できる位置関係にした。

3.3.4 組み立て手順

本試験システムの重要な機構部は既設の天秤等を改修することなく、ターン・テーブルの狭い内部空間に収まるように設計している。特に、配管干渉除去装置を中心とした各機構部の組立手順について記載しておくことにする。なお、組立手順の詳細については、後述の【付録A】の節で詳しく述べることにする。

3.4 模型・エンジン系

試験システムに適用した8%STOL実験機「飛鳥」模型と実装したエンジンの寸法諸元等については、多くのSTOL実験機開発風試に関する報告書^{4,5)}で述べられている。本節では、第5節で述べる各機能試験を実施するために自動化した模型内の圧力制御機構部(エンジン制御バルブ、空気配管およびセンサ)、エンジン、BLC(手動バルブ、センサ)および潤滑油系統の各機構の改修について図3.4-1～図3.4-4をもとに述べる。なお、本節における模型とエンジンの機能説明では、左右対称の全機模型であることから、構造説明においては左翼{第1エンジン(#1)と第2エンジン(#2)}側を中心に述べることにする。

3.4.1 圧力制御機構部

圧力制御機構部は模型内の圧力チャンバと各エンジン間の圧力配管に設けて、各エンジンの推力を制御できるようにしたものである。図3.4-1の模型内の概念図をもとに説明する。圧力制御機構部はメインチャンバとエンジンチャンバを介してエンジン(#1と#2)に高圧空気を供給制御する電動サーボ方式のエンジン制御バルブ(#1と#2)と空気配管(ナセル含む)および機能を監視する圧力センサで構成されている。

(a) エンジン制御バルブ

エンジンの回転数を制御するエンジン制御バルブの構造概要を図3.4-2に、外観を写真3.4-1に示す。エンジン制御バルブはメインチャンバと空気配管の結合部において、風洞外から遠隔操作できるように、電動サーボ機構部を有している。以下、エンジン制御バルブの構造および作動原

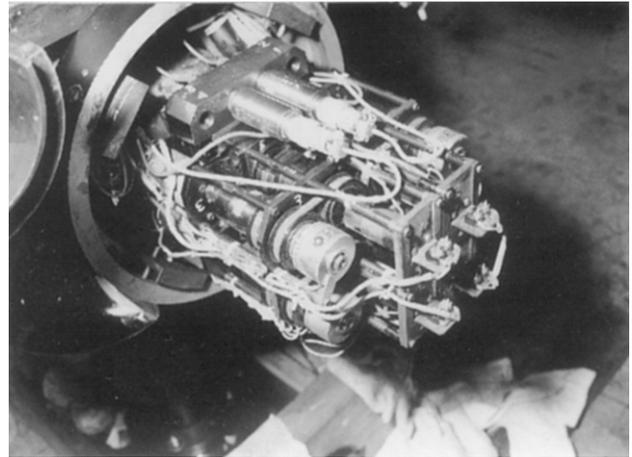


写真 3.4-1 エンジン制御バルブ

理について述べる。

(i) エンジン制御バルブの構造

エンジン制御バルブの基本構成は駆動用サーボモータ(ギヤー付)と圧力を線形に制御するニードルバルブ、ニードルバルブを直線的に動かすボールネジ機構部およびバルブの開閉量を検出するポテンシオメータからなる。この他、ニードルバルブの焼き付き防止用に過負荷検出用トルクリミッタを設けて、トルクリミッタの信号をもとに、モータ軸とボールネジ軸を機械的に瞬時に切り離す電磁クラッチ機構が設けられている。なお、モータ軸からボールネジ軸への力の伝達は、両者の軸心合わせを容易にするために、プリー機構によるベルト結合(タイミングベルト)方式を採用している。

(ii) エンジン制御バルブの動作

ここでは、エンジン制御バルブに適用している電動サーボ機構の動作について述べることにする。バルブの動作は外部信号によりサーボモータが駆動すると、ギヤーを介した回転力が同軸の電磁クラッチに伝達されて、正(開)、逆(閉)伝達機構付きプリーを回転させる。プリーの回転力はタイミングベルトを介してバルブに直結したボールネジ機構部にて並進運動に変換されてニードルバルブを動かす。ニードルバルブ開閉の移動量は、スライド軸に直結したポテンシオメータで検出される。その移動量はボールネジ1回転あたり、2mmとなっている。なお、バルブの最大移動量は20mmである。また、動作中にニードルバルブに大きな負荷(ゴミ等による焼き付き現象)が発生すると、トルクリミッタが信号を発生し、電磁クラッチを作動させて回転軸の動きを機械的に遮断すると同時にサーボモータを停止させることになっている。実際の圧力制御については第5節の制御系で述べる。

(b) 空気配管

高圧空気を供給する空気配管系には図3.4-1に示すように、エンジン用とBLC用の2系統(図の編目部分)があ

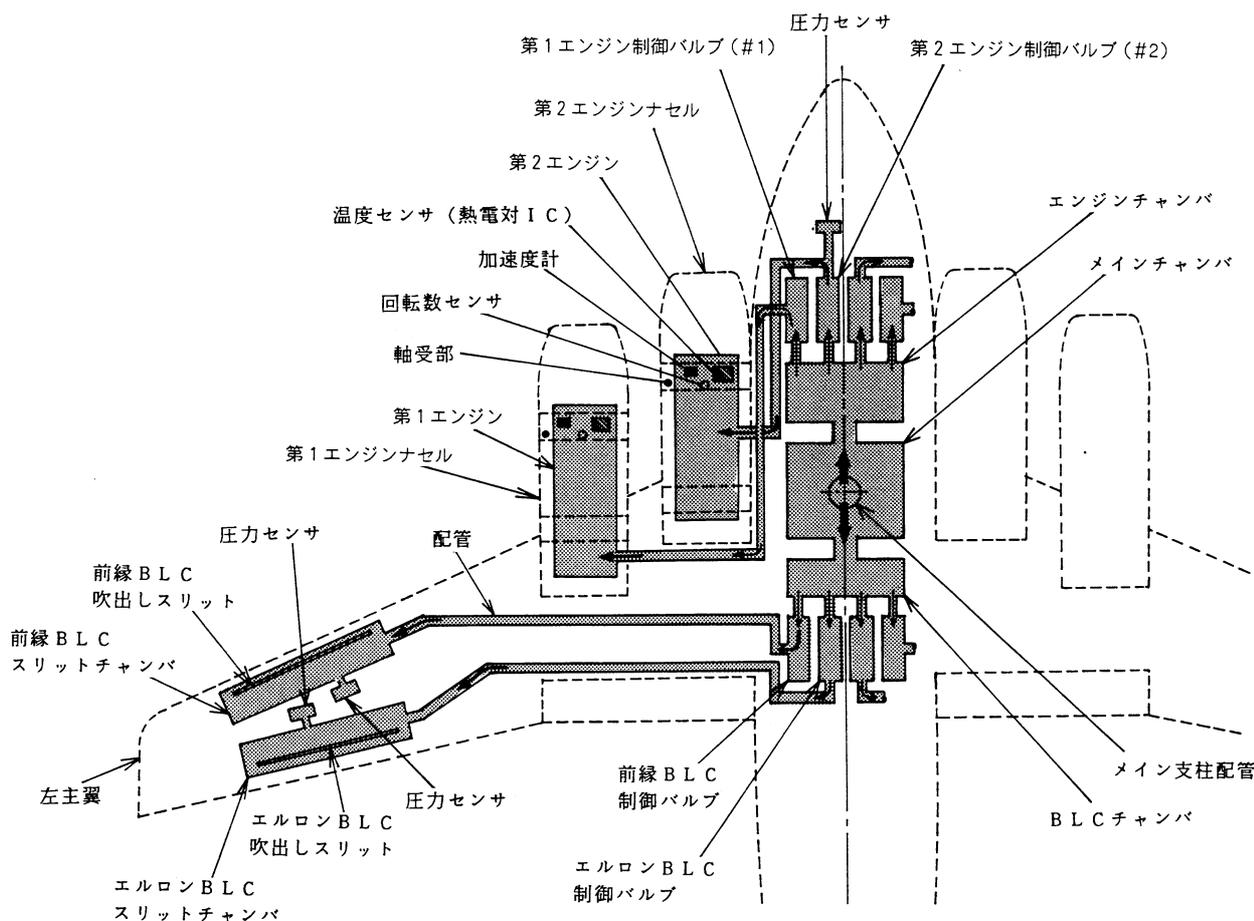


図 3.4-1 模型内の圧力制御機構部(空気配管系及びセンサ系の配置)の概要

る。高圧空気は支柱配管よりメインチャンバ、各エンジン用小チャンバと各BLCチャンバを介して、それぞれのエンジン制御バルブ(#1, #2)とBLC制御バルブに供給することになる。なお、BLC制御バルブと高圧空気の供給系の詳細については後節で述べる。また、エンジンへの配管は耐圧2.0Mpa以上を有し、供給量はエンジン1基分が十分補える管路を形成している。

(c) 圧力センサ

圧力センサは図 3.4-1 に示すように、各エンジン制御バルブの出口側にそれぞれ設けられ、適宜圧力監視ができるようになっている。

3.4.2 エンジン

試験システムに用いたエンジンの採用理由等については開発風試における報告書、たとえば文献^{6, 12)}等で詳しく述べられているので省くことにする。本節ではエンジンの全体構成と、推力発生機構と動作および機能維持に必要な各種センサ類について述べる。

(a) エンジン本体の構造

エンジン本体の詳細構成について図 3.4-1 と図 3.4-3 をもとに述べる。

エンジンの支持法は主翼桁より上方に突出したエンジンマウント(ナセル下部併用構造)に、エンジン本体を取り付けてナセル(エア・インテーク、ナセル中胴部本体、USBノズル)で覆っている。高圧空気の供給は各エンジン制御バルブから主翼内ダクト、エンジンマウントのダクトを介して、エンジン取付座の空気供給口へと管路を形成し、エンジン内の高圧室からタービンノズルを介してエア・タービンへと導入される。

また、エンジン本体の詳細な構成は、高圧空気導入口²³⁾、エア・タービン、エア・タービンシャフトと直結したダクト・ファン部のファンブレード、静翼、ダクト、動翼軸の軸受部(前、後)ダクト・ファンの流れを整流するコア・ノズルとテールコーン、回転機構部の機能を監視する各種センサ(軸受温度検出用熱電対、タービン回転数センサ、振動検出用加速度センサ²¹⁾)および軸受部に潤滑油を供給する潤滑油配管²²⁾からなる。なお、ノズル内に設けられたコア・ノズルは、実機で採用したコア・ジェット跳ね上げ方式とし、高圧のコア・ジェット流をファン流で覆うようにして、翼およびフラップ表面の温度がある一定の値を超えるのを防ぐ機能を模擬してある。

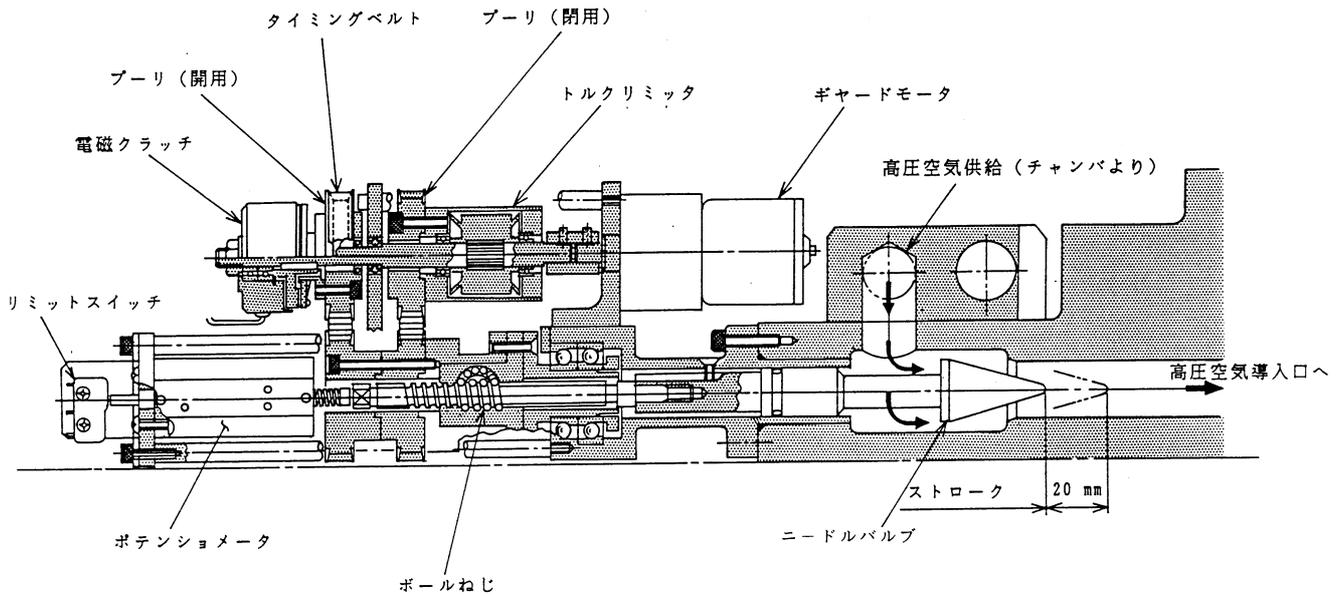


図 3.4-2 エンジン制御バルブ駆動装置

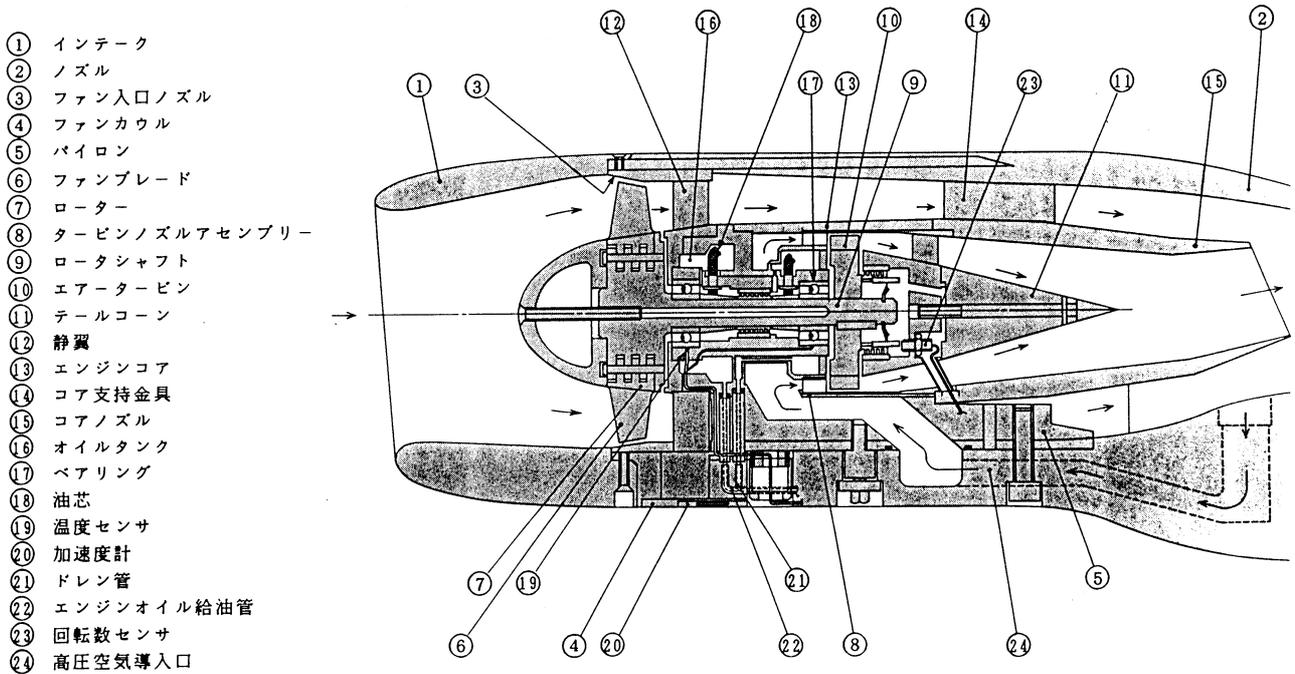


図 3.4-3 エンジンの構造

(b) 推力発生機構と動作

推力発生機構と動作については、図 3.4-3 と前記の機構をもとに述べる。

高圧空気供給口より導入された高圧空気は、高圧室に送られ、タービン・ノズルから高速ジェットをエア・タービンに吹き付け、タービンシャフトを高速回転させる。タービンシャフトの前方には、ダクト・ファン部のファンブレードが直結されていて高速回転する。ファンブレードはダクト内でファン流を発生させ、エア・インテーク流を増加させて後方へと導き、ファン推進

を生むことになる。また、エア・タービンで使用した高速コア・ジェット流は、コア・ノズルを介して、USBノズル内でダクトファン流に包まれて外に排気、フラップに沿って流れ、大きなジェット推力(高速コア・ジェット流とファン流の合成)を生み出す。適用したエンジンのエア・タービンは、エア・インテークより空気を取り入れて圧縮する構造になっていないために、高圧空気の供給そのものがコア・ジェット推力となる。また、エア・タービンでは高圧空気をタービン・ノズルから放出するため、断熱膨張により低温のコア・ジェット流を形成することにな

る。なお、エンジンに供給する高圧空気は、乾燥空気を使用しているのでエア・タービン機構での結氷はないが、ファン流との混合領域(ポルテックス・ジェネレータ)においては、一様流のある条件下(湿度の高い時)において結氷することもある。

(c) センサ

エンジンの監視用センサの配置を図 3.4-1 に示す。エンジンの高速運転(供給圧 1.67MPa で 50,000rpm)時には、機能を確保するための種々のセンサが必要である。その機構は回転数を検出する回転数センサ、軸受の温度を検出する温度センサ、軸受の異常振動を検出する振動センサ²¹をそれぞれの位置に設けて、遠隔で監視する方法をとっている。回転数センサは磁石とホール素子の組み合わせたものを用い、1回転当たり1パルスの信号を発生するものであり、パルス計測から回転数は算出することになる。軸受の温度検出センサは、軸受部の近傍に熱電対を設けている。また、エンジンの異常回転に伴う振動検出センサ²¹には加速度計を用い、エンジンマウントに設けて横揺れの加速度の大きさからエンジンの異常を判断している。

3.4.3 B L C

前述したように、模型には実機に適用している高揚力舵面(前縁スラッド、USBフラップ、エルロン)と同様の機能が設けられていて、舵面上で剥離を防ぐ境界層制御用の B L C 装置が主翼前縁部(スラッド)とエルロン部に各々設けられている。USBフラップの境界層制御については、USBフラップ上を流れるエンジン排気流がこの機能を果たしている。各 B L C 装置は B L C 制御バルブ、主翼内に設けた B L C スリットチャンバおよび B L C スリットチャンバ内の圧力監視用に設けた圧力センサで構成されている。B L C 制御バルブは図 3.4-1 に示すように、B L C チャンバと各スリットチャンバとの間に設けて、高圧空気を分

配および吹き出し量を遠隔で調整できる駆動機構である。その機構部は写真 3.4-2 に示すように、流量調整用のニードルバルブと電動サーボセット機構(手でスイッチを ON/OFF)からなる。また、吹き出し量は飛行形態(着陸 L/D、離陸 T/D)によって異なるため、あらかじめ各試験形態毎のスリットチャンバ圧と吹き出し量の関係およびスリットチャンバ圧とニードルバルブの開閉量との関係を求めておき、これらの関係曲線を使って実際の吹き出し量の変更を行うことになる。吹き出し量の変更は電動サーボセット機構のポテンショメータの変移量を前述の関係で定めた量だけ手動作する。なお、B L C 推力の調整方法の詳細は第 5.3 節で述べている。

3.4.4 潤滑油系統

エンジンは実験中、高速回転($C_j = 1.85, 3.0$ の時、約 50,000rpm)を維持しなければならず、軸受部の温度を監視しつつ、軸受の温度上昇を抑えるために、常に潤滑油を供給して冷却する必要がある。従来の潤滑油の給油方法は1時間毎に風洞を停止させて、各軸受部の油溜に注射器で一定量を供給していたため試験効率が大変悪かった。そこで、試験システム開発に合わせて、潤滑油の供給系統を自動給油方式に一新し、試験効率と運転の安全性の向上をめざすことにした。その新しい自動給油装置を以下に示す。

自動給油装置は2系統の給油機能を有する給油ポンプ¹⁴⁾と自動給油制御部、給油パイプおよび油タンクその他、各系統ごとに3つの切替バルブ(NO 1, NO 2, NO 3)およびリリーフバルブで構成される。自動給油装置の給油ポンプと自動給油制御部は風洞外に設置しておき、エンジンとの間を模型内に設けた切替バルブを介してパイプ結合して、給油ポンプの切替えと模型内バルブの切替を行って、各軸受1箇所ずつ合計8箇所(各エンジンに2箇所づつ)4発のエンジンを給油するシーケンス回路を構成してい

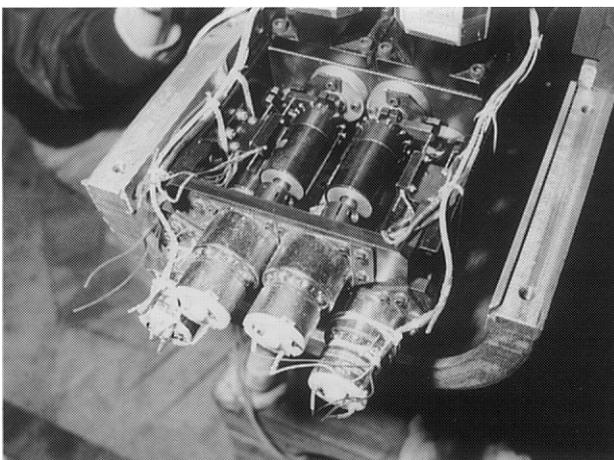


写真 3.4-2 B L C 用制御バルブ

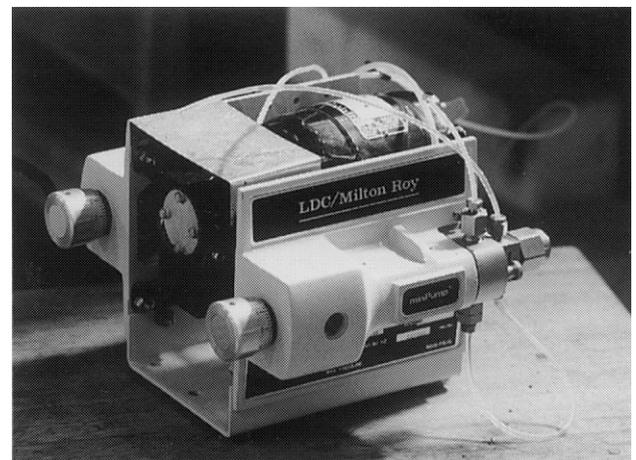


写真 3.4-3 自動給油装置(自動給油ポンプ)

る。また、自動給油制御部には給油パイプの目詰まり等から給油ポンプを保護するための異常警報用表示機能と、切替バルブの切替確認表示ランプの点灯、さらにポンプ動作の時間を設定するタイマー機能が設けられている。エンジンへの給油量はエンジンが焼き付かない程度の給油量でよく、給油量が多いと油溜を越えてエンジン排気側のテールコーンから外に、主翼面上、US Bフラップへと垂れ流し状態になるが、そのようにならないことが望ましい。そのため、過去の実績から1軸当たりの給油量を約10cc/hrとした。上記の給油操作は一定時間毎のタイマー設定(切替

含む)により、数時間の連続運転が可能となっている。

次に図 3.4-4 をもとに給油システムの動作について述べる。ここでは、2系統(左右翼)同時に作動するシステムになっているため、代表して左翼の給油について説明する。給油システムは、風洞外の給油ポンプから、メイン支柱に付設したパイプを介して模型内へ導入される。模型内に導入された給油パイプは、分岐管によってNO 3バルブとリリーフバルブの1次側に結合されている。NO 3バルブの2次側には、それぞれNO 1とNO 2バルブの1次側に結合され、さらにNO 1とNO 2の2次側は、それぞれ第1エンジ

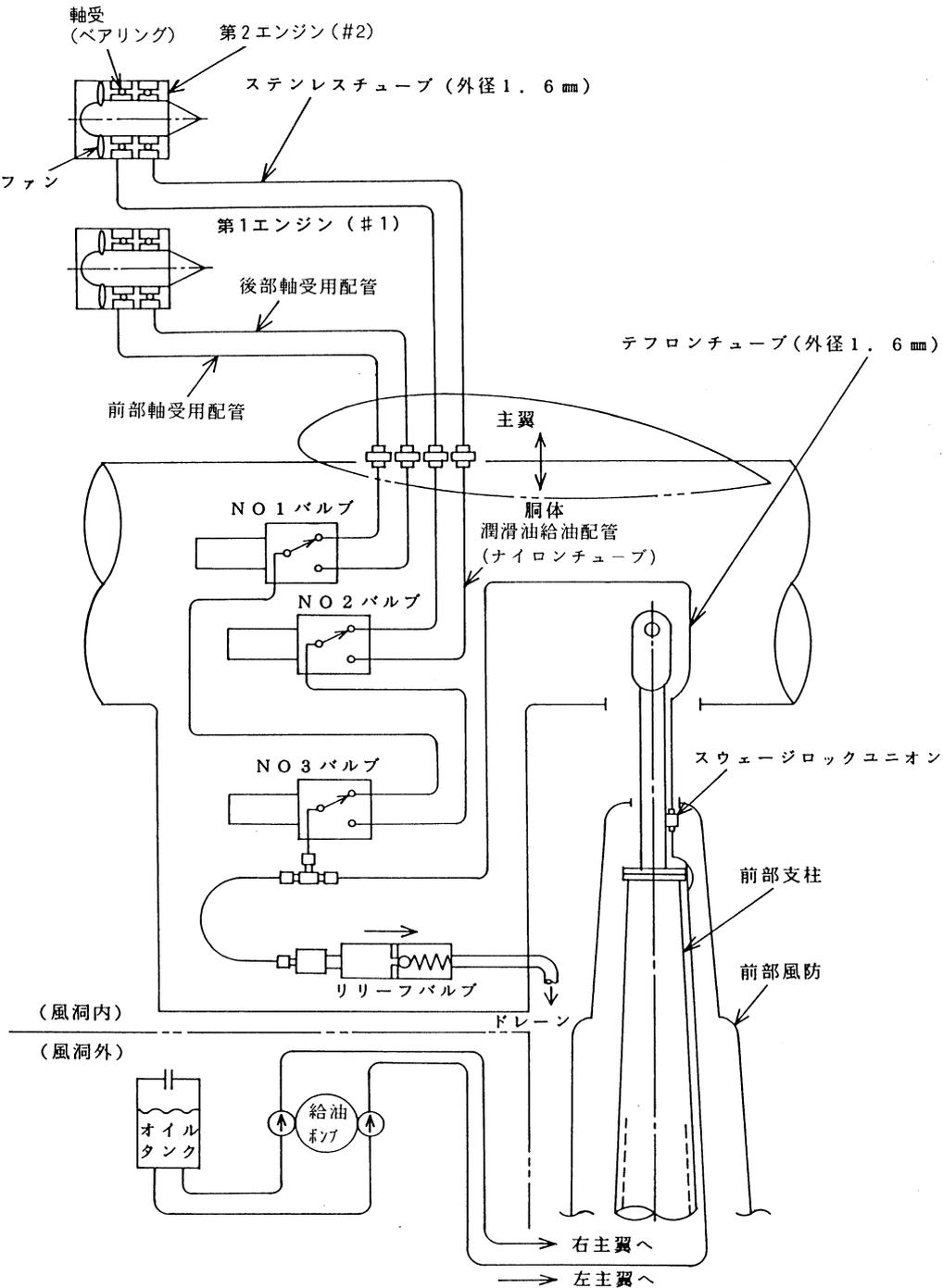


図 3.4-4 潤滑油系統図

ン(#1)と第2エンジン(#2)の前後の軸受部の油溜へと結合されている。次にエンジンへの給油操作は自動給油制御部の操作スイッチで行われ、各バルブの切替のON、OFF状態がランプ表示で確認できるようになっている。自動給油における制御はシーケンス回路によって行われ、まず、給油ポンプで左翼側の系統が選択され、次にNO3バルブの2次側がNO1バルブに切り替わり、NO1バルブにつながっている第1エンジン軸受部の前の油溜が選択され、ポンプが起動して給油が行われる。一定時間(タイマーの設定時間)後、NO1バルブの2次側が切り替わって軸受部の後の油溜に給油が一定時間(タイマーで設定した時間分)行われる。次にNO3が作動して、NO2のバルブに切り替わって第2エンジンが選択され、同様に第2エンジンの各油溜前と後に順次切り替わって左翼側模型エンジン軸受部への給油が終了する。次に右翼側に切り替えられて左翼と同様に給油を実行する。長時間運転では、上記の操作を左右の翼について一定時間繰り返し実施して各エンジンを保護することになる。給油ラインの配管圧力は、常用0.31 ~ 0.69Mpaの範囲で一定値に制御される。給油配管にゴミつまり等の原因によって配管圧力が常用設定圧力を越え、0.7Mpa以上になると、給油配管内のリリーフバルブが作動し、配管内の圧力を下げて配管が破損するのを防止させるようになっている。また、油溜に給油された潤滑油は、油溜から油芯を介して軸受へと給油される。

3.5 制御系

制御系は前節3.1で述べたように、STOL 実験機「飛鳥」の風洞試験において、配管干渉除去機能の維持しつつ、エンジン回転制御を的確に行えるようにするものである。風洞試験では実機とエンジン動作状態の相似性をとるために、パラメータとしてエンジン推力係数 $C_j = T_j / q \cdot S$ を採用している。また、風洞試験ではエンジン推力係数 C_j を一定として、スイープあるいはスイープを行い模型の空力特性を測定する。従って、試験の各スイープ中はエンジンの推力を指定された値に一定に保つことが重要となる。

図3.5-1は第3.4節で示したエンジン1基当たりの推力特性の測定結果である。グラフの横軸はエンジンの回転数、縦軸はエンジンの推力で、○、△、×印はそれぞれエンジンへの供給圧が1.08, 1.37, 1.67MPaのときの測定値である。図中の実線は測定値へのあてはめ曲線で、推力はエンジンの回転数に対して、ほぼ4次の多項式で近似することができる。この図を見るとわかるように、エンジン推力は、供給元圧の違いにほとんど依存せず、エンジン回転数を指定すれば一義的に定まる。従って、試験中のエンジン推力係数 C_j の値はエンジン回転数をパラメータとして設定すればよいことになる。なお、ここには示していな

いが4発のエンジンの推力特性は、幾分ではあるがそれぞれ異なっている。

従来のゴムホースを採用した配管干渉除去装置では、エンジンの回転数の設定は直接、エンジンを作動させている供給元圧を手動で調整し行っていた。4発のエンジンそれぞれの推力特性の違いに対しては、各エンジン毎にニードルバルブ(手動式)を設け、それらをプリセット調整することによって、同値の推力が得られるように回転数を設定していた。表3.5-1は所定のエンジン推力係数を得るために必要な、各エンジンの回転数の設定値例である。これを見ると前述したように、各エンジンが同値の推力を得るために必要な回転数の値は、エンジン間で推力特性に差があり、たとえば $C_j = 1.85$ のとき、第1エンジン(#1)と第3エンジン(#3)間で1,400rpmの差がある。いままで、エンジンの回転数を微調整するニードルバルブは、手動操作によりプリセットしていたため、試験準備段階でのエンジンの推力調整、整合作業に多くの労力を要していた。そして試験中、エンジン間で推力に差が生じた場合、ニードルバルブの再調整も大変な作業となった。また、長時間に亘るエンジンの手動運転では多くの労力を要し、さらにヒューマンエラーも発生し、推力の一定保持に不安を残し

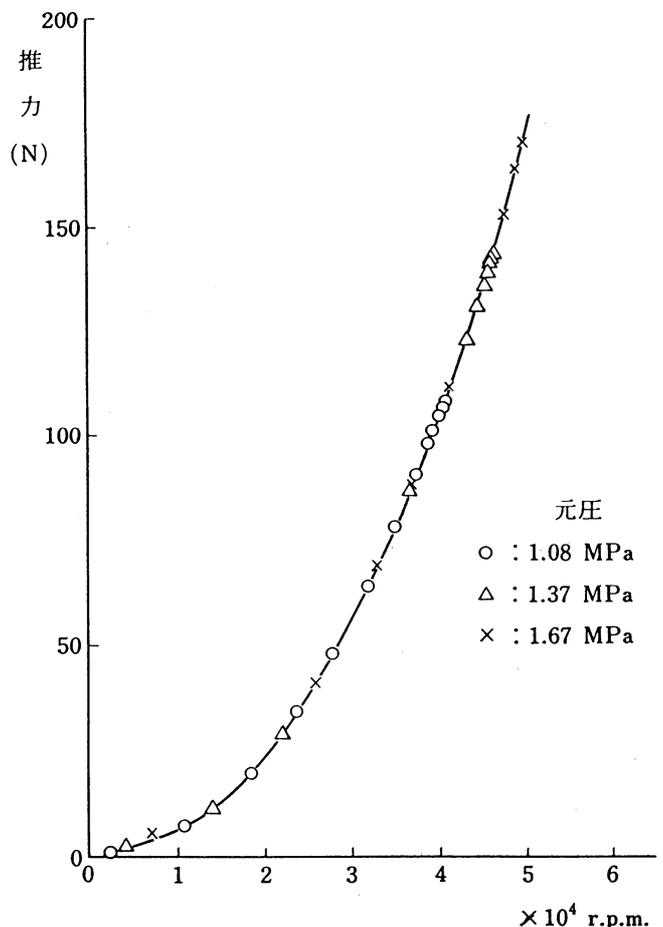


図 3.5-1 エンジン推力特性

表 3.5-1 エンジン推力係数 C_j - 設定エンジン回転数

| C_j | エンジン回転数 [RPM] | | | |
|-------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | NO 1 | NO 2 | NO 3 | NO 4 |
| 0.5 | 2 4 9 0 0 | 2 5 2 0 0 | 2 5 7 0 0 | 2 5 2 0 0 |
| 1.0 | 3 4 6 0 0 | 3 5 0 0 0 | 3 5 7 0 0 | 3 4 8 0 0 |
| 1.85 | 4 5 8 0 0 | 4 6 4 0 0 | 4 7 2 0 0 | 4 6 4 0 0 |
| 3.0 | 4 5 8 0 0 | 4 6 4 0 0 | 4 7 2 0 0 | 4 6 4 0 0 |

条件 $S = 0.7712 \text{ m}^2$
 $q = 980.6 \text{ Pa}$ (但し $C_j = 3.0$ のとき $q = 383.1 \text{ Pa}$)

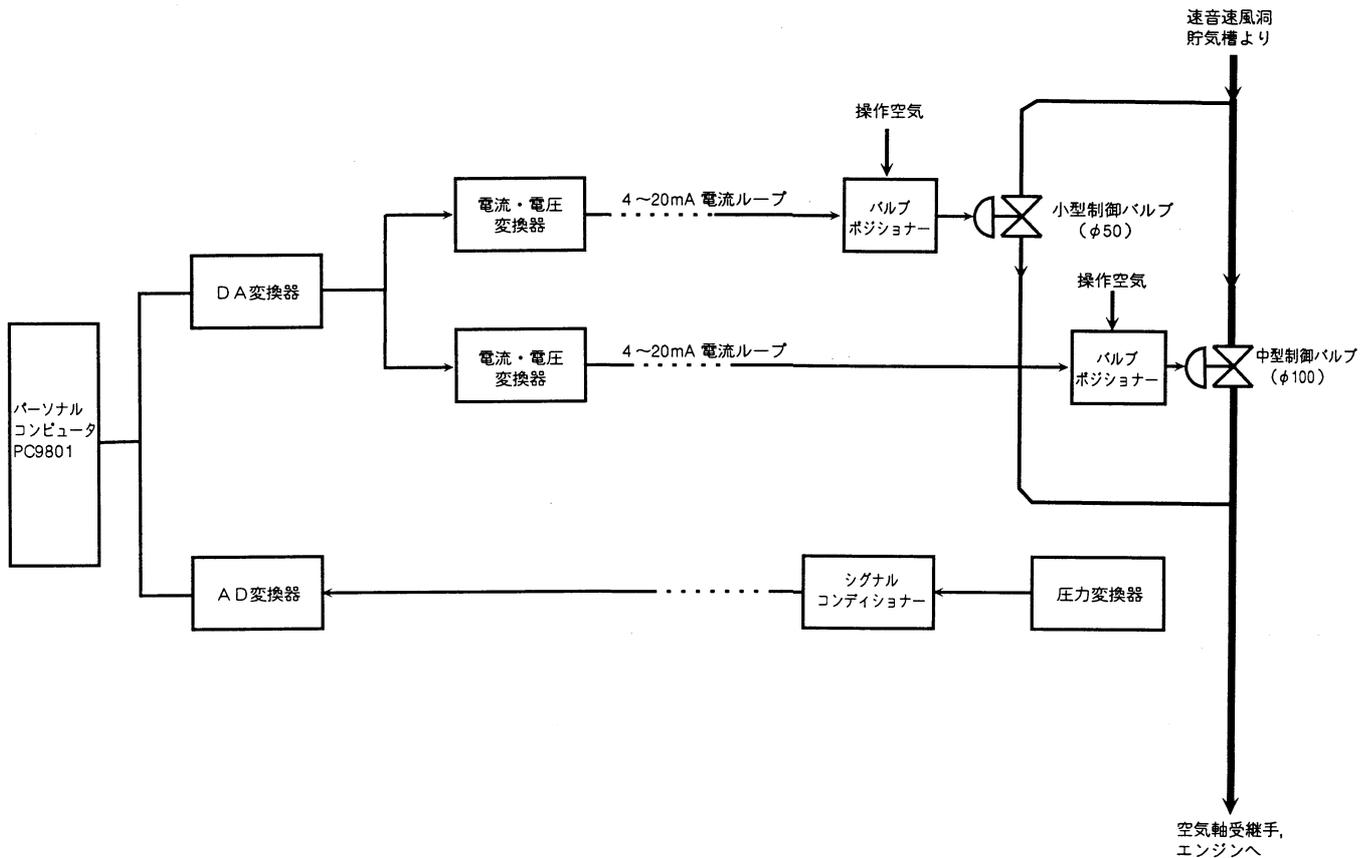


図 3.5-2 空気軸受継手供給圧・制御システムの系統

た。

一方、空気軸受継手を適用した配管干渉除去装置は、空気軸受継手の動作原理上これに供給する空気圧はなるべく一定であることが望ましい。そこで、本制御系では空気軸受継手に加わる供給圧を一定に調整するために使用していた、手動設定用のニードルバルブを、前節 3.4 に記述したように電動サーボ方式のエンジン制御バルブに改修して、エンジンの回転数を自動設定できるように自動遠隔操作コントロール方式を採用した。ここでは空気軸受継手に供給する圧力の制御、並びにエンジン回転数の設定制御の概要について述べる。

3.5.1 圧力制御

圧力制御は、従来のゴムホース方式にかわる空気軸受継手の機能を常に維持するために供給圧を一定に保つ圧力制御に関するものである。

(a) 制御システム

空気軸受継手への供給圧設定には、前節 3.2 で述べた圧力配管、圧力制御バルブ等を使用している。図 3.5-2 は空気軸受継手の供給圧力値・制御システムの系統である。空気軸受継手に空気を供給する配管と制御バルブは、中口径管(100)と小口径管(50)の2系統で構成されている。これは広範囲にわたって圧力制御がきめ細かくできるように考慮しているものである。通常は設定する圧力に応じて

小型制御バルブ(50)のみ使用する場合と、小型制御バルブ+中型制御バルブ(100)の組み合わせで使用する場合とがある。この配管系の高圧空気は供給源の貯気槽より供給を受けており、高圧空気を共用する各種大型風洞(超音速風洞、2次元風洞、フラッタ風洞、遷音速風洞)が空気使用中は圧力変動が大きいこともある。そこで、これらの制御バルブ上流側ならびに空気軸受継手の前段にバッファ用のタンクを設けることが、供給圧力の安定制御に有効である、しかし、スペースの制約から圧力制御に有効な大きさのタンクは設けられないため、供給圧力の安定制御に必要な最小の容量を圧力配管を長くすることで解決した。

空気軸受継手に供給する圧力制御は、現有するパーソナルコンピュータ(以後、コンピュータという)を使ったプログラム制御により行っている。 図 3.5-2 をもとに説明す

る。まず制御は、制御バルブの下流側の配管部に設けた圧力変換器により空気軸受継手への供給圧を計測し、A / D変換器を介してコンピュータに導入される。その信号をもとにコンピュータは、空気軸受継手供給圧と目標値から偏差を求め、積分制御演算を行い、制御バルブの開度を変化させて空気軸受継手供給圧の定値制御を行っている。制御バルブの駆動には、電流 / 空気圧変換型のバルブポジショナを使用している。コンピュータから出力される制御バルブ開閉の制御信号は、D / A変換器、電圧 / 電流変換器を介して、バルブポジショナに入力される。中口径管(100)、小口径管(50)の各制御バルブは、ダイヤフラム型でバルブポジショナの出力空気圧で駆動されている。表 3.5-2 に、供給圧・定値制御システムの構成機器の主要性能を示す。

表 3.5-2 圧力定値・制御システムの構成機器—主要性能

| 構成機器 | 性能, 規格 |
|-------------|--|
| 圧力変換器 | 日本電気三栄製 9E02-P2型 測定レンジ 19.6 MPa 非直線性 0.15 FS ヒステリシス 0.15 FS |
| AD変換器 | コンテック製 AD12-16SH 入力電圧レンジ ±10V 入力チャンネル数 16 分解能 12ビット 直線性 ±0.05% OF FS 変換速度 250 μs |
| DA変換器 | コンテック製 DA-4D 出力電圧 0~5V 出力チャンネル数 4 分解能 12ビット 直線性 ±1/2 LSB 変換速度 250 μs |
| 電圧/電流変換器 | アナログデバイス製 5B39-01 入力レンジ 0~5V 出力レンジ 4~20 mA 精度 ±0.05% OF FS |
| バルブポジショナ | YOKOGAWA製 EP5503型 入力電流 4~20 mA 出力空気圧 39.2~196 KPa |
| 小型制御バルブ | 島津製作所製 ACV202-50FL 駆動方式 ダイヤフラム 流量特性 イコールパーセント C _v 値 28 定格圧力 19.6 MPa 配管内径 50 mm |
| 中型制御バルブ | 島津製作所製 ACV202-100FL 駆動方式 ダイヤフラム 流量特性 イコールパーセント C _v 値 165 定格圧力 19.6 MPa 配管内径 100 mm |
| パーソナルコンピュータ | 日本電気製 PC9801VM 使用言語 BASIC |

(b) 制御プログラム

一般に、プロセス等の圧力制御には、PID(Proportional Integral Derivative)制御が多く使用されているが、本圧力制御では現有するコンピュータの性能・機能、並びに時間的な制約から、Incremental Adjustment⁷⁾と呼ばれる、一種の積分動作によって圧力制御を行うこととした。

図3.5-3にその制御シーケンスのフローチャートを示す。動作はまず、空気軸受継手への供給圧を測定し目標値と比較する。偏差が許容値内(風試では± 4.9KPa程度)であれ

ば、制御ループから抜ける。空気軸受継手への供給圧が目標値より低い場合は、小型制御バルブ(50)の開度を上げる方向に操作する。このとき、小型制御バルブの開度が90%をすでに越えている場合には、中型制御バルブ(100)の操作を行い圧力調整をする。制御バルブは積分動作によって、偏差が許容値内になるまで、逐次弁開度を上げるように操作される。目標値に比べ、空気軸受継手の供給圧が低い場合には逆の操作が行われ、弁開度が下げられる。制御プログラムはBASICで記述されている。

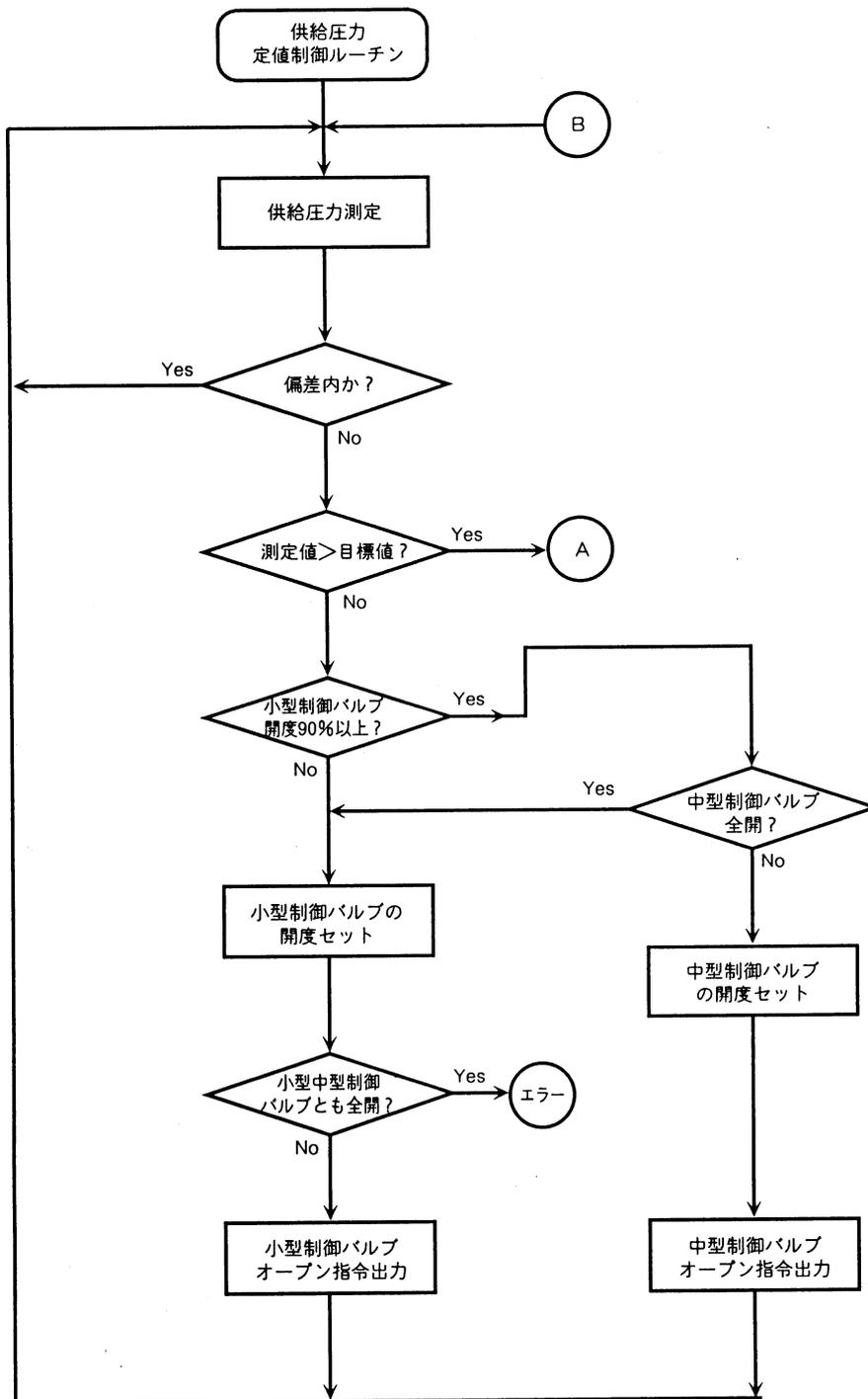


図 3.5-3 供給圧力・定値制御ルーチン

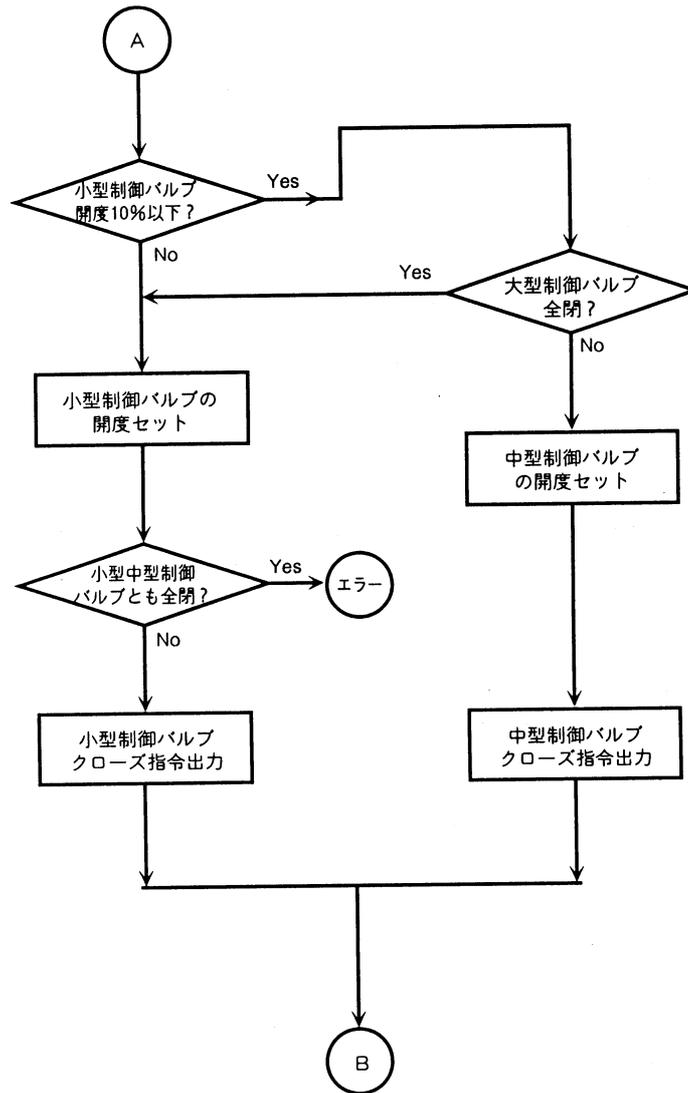


図 3.5-3(続き) 供給圧力・定値制御ルーチン

圧力制御では、エンジンの起動時や推力係数 C_j の変更時に空気軸受継手の供給流量が大幅に変化すると大きな負荷変動が生じる。また、高圧空気を共用する各施設が運転すると同様に、制御バルブの上流側圧力が急激に低下(たとえば 1.96MPa から 1.27MPa まで変化)するといったような大きな外乱が生じる。本プログラムでは、このような大きな負荷変動や外乱がある場合を除けば、良好に動作し偏差も $\pm 4.9\text{KPa}$ 程度に収まっている。また、負荷であるエンジンの消費流量が小さい場合 ($C_j = 1.0$ 以下で、元圧を 1.08MPa に設定)は、制御バルブ上流側に圧力変動がある場合でも、偏差は $\pm 9.8\text{MPa}$ 程度に収まっている。試験中、この程度の偏差であれば、空気軸受継手の動作やエンジンの回転数制御には、ほとんど問題はない。今後、上記の大きな負荷変動や外乱に対しても、制御性能を向上、具体的には偏差の減少、応答性を良くするために、BASIC に比べ高速に動作する可読性の良い C 言語を使用した PID 制御、貯気槽圧変動を検出してゲインスケジュールを設け

た圧力定値制御への変更が必要である。

3.5.2 エンジンの回転数制御

(a) 制御システム

最大 4 発のエンジンの回転数設定制御を中心とした運転管理(エンジンの安全モニタを除く)は、その機能の構築、変更の容易さから、コンピュータを使ったプログラム制御について述べる。図 3.5-4 はエンジンの回転数・設定制御システムの系統図である。以下に制御システムを構成する各要素の動作概要について述べる。エンジンを駆動する高圧空気は、圧力配管と空気軸受継手を経て、模型内に装着されたエンジン制御バルブを通りエンジンに流入する。エンジン制御バルブは、3.4 節で説明したように、エンジン毎に設けられており計 4 台ある。このエンジン制御バルブは、DC サーボモータを使った位置制御機構になっているために遠隔制御が可能である。空気軸受継手の供給圧を一定にしたときの、エンジン制御バルブの開度に対するエン

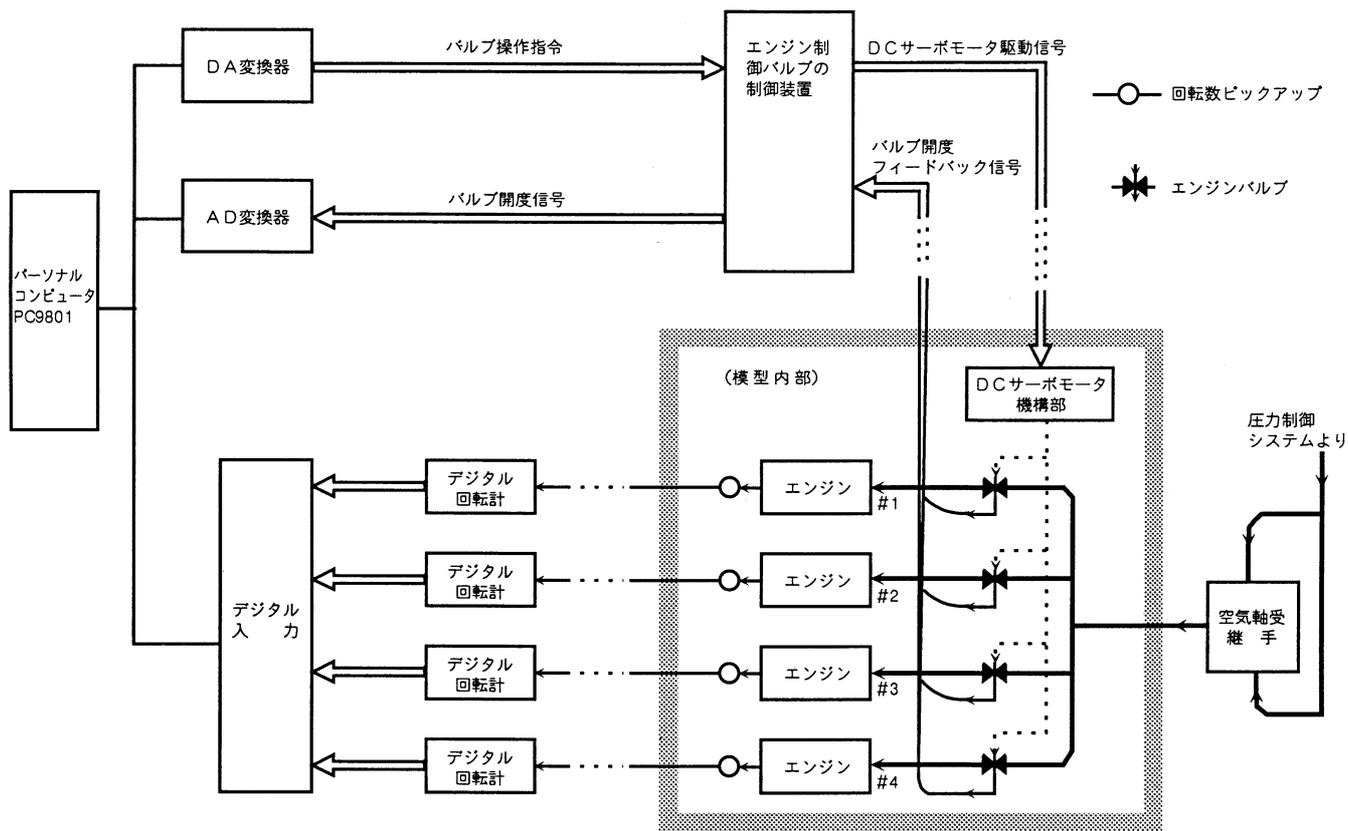


図 3.5-4 エンジン回転数の設定制御システム

エンジン回転数に対する静特性を図 3.5-5 に示す。これを見ると、エンジンの回転数はバルブ開度に対して非線形な特性を示している。この非線形性はバルブ開度が大きくなるほど、また、供給圧が低くなるほど大きくなる傾向が見られる。そこで、エンジン推力係数 C_j の設定に際して、なるべくゲイン(エンジン回転数/バルブ開度)に大きな違いが現れないように、比較的的非線形性の小さい領域(バルブストロークが 2 ~ 4 mm の範囲)でエンジン制御バルブを作動させることとした。また、供給圧についても、 $C_j = 0.5$ および 1.0 のときには 1.08MPa に、 $C_j = 1.85$ および 3.0 のときには 1.67MPa に設定し、エンジンを作動させることよりこの非線形性の影響をなるべく少なくするように配慮した。一方、エンジン制御バルブの実用上の最大開度は、先ほどの図 3.5-5 に示したように、約 7 mm とストロークが非常に小さく、バックラッシュの影響を受けることが懸念される。そこで、エンジンの回転数・設定制御は、次のように行われる。まず、エンジン回転数をエンジン内に取り付けられた回転計(永久磁石とホール素子)によってデジタル量として検出する。続いて、コンピュータでは、デジタル入力されたエンジン回転数の現在値と目標値との偏差をもとに、前述の圧力制御と同様、“Incremental Adjustment” を実行して、エンジン制御バルブの開度を微調整し、エンジンの回転数を制御する。ここで、エンジン

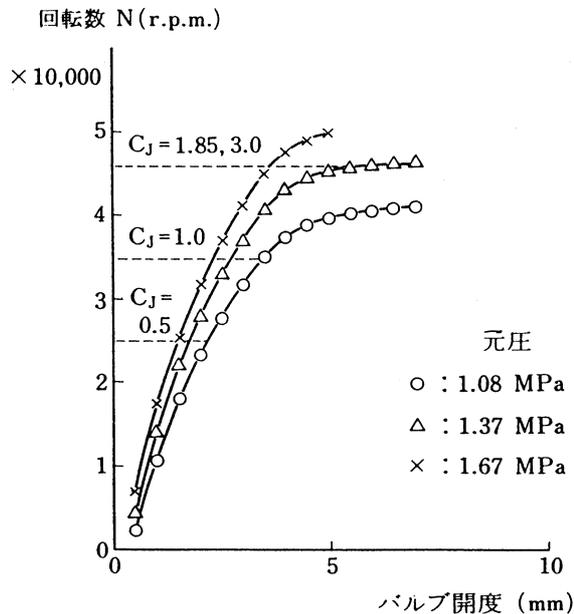


図 3.5-5 バルブ開度-エンジン回転数静特性

制御バルブの開度設定は、開度指令(バルブ開度の目標値)を、コンピュータに接続された D/A 変換器を介して、エンジン制御バルブの制御装置⁸⁾に出力することにより行う。図 3.5-6 にエンジン制御バルブの制御装置のブロックダイアグラムを、そして図 3.5-7 にその外観を示す。エン

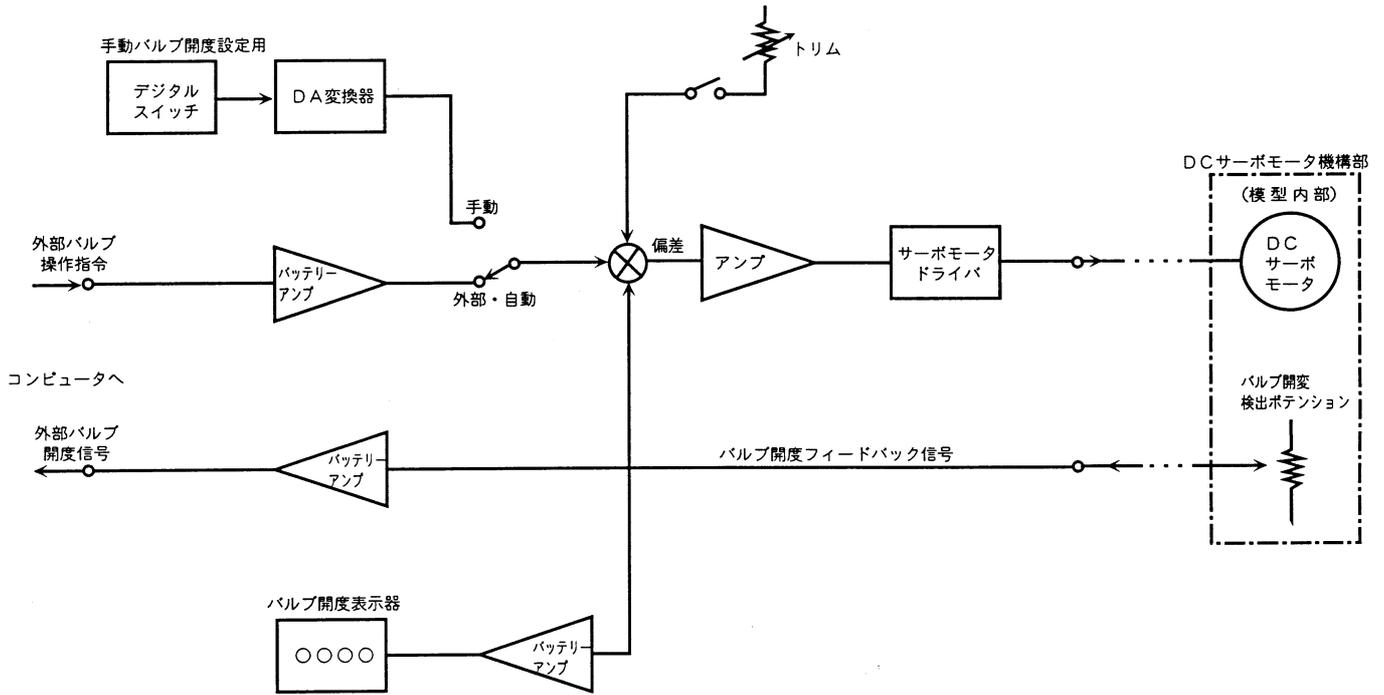


図 3.5-6 エンジンバルブ・制御装置のブロックダイヤグラム

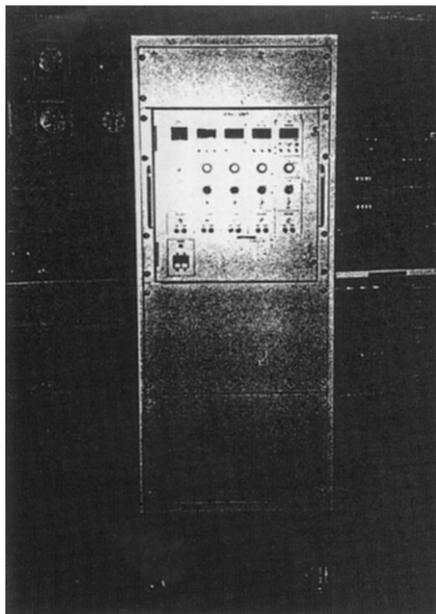


図 3.5-7 エンジンバルブ・制御装置の外観

エンジン制御バルブの制御装置は、制御バルブの位置信号(バルブ開度)をフィールドバックした一般的な回路構成になっている。なお、この回路はタコジェネレータなどによる速度フィールドバックは、エンジン制御バルブの動作が遅いため特に設けていない。このエンジン制御バルブの開度は、専用のリニアポテンシオメータで検出してフィールドバックしている。この位置フィールドバック信号は、目標値との開度偏差を算出する以外に、エンジンバルブ開度の表示、外部出力用信号としても使用される。外部出力信号

は、A / D変換器を介してコンピュータに入力される。この信号は、エンジン制御バルブの開度設定ルーチンで使用される。エンジン制御バルブ開度の目標値設定は、手動の場合、制御装置のパネル上のデジタルスイッチからプリセットする。エンジン回転数を自動で設定制御する場合は、コンピュータからD / A変換器を介して制御装置に所定の電圧を与えてエンジン制御バルブの開度を調整する。エンジン制御バルブ開度の偏差信号は専用のアンプで増幅された後、DCサーボモータドライバに入力される。最終的に、エンジン制御バルブを作動させるDCサーボモータは、このドライバでパルス幅変調(PWN)、さらに電力増幅された出力信号によって駆動される。DCサーボモータドライバから模型内部のDCサーボモータ間は、40 m長の信号ケーブルで接続されている。以上の制御システムの構成機器の主要性能を表 3.5-3 に示す。

(b) エンジン運転管理プログラム

4発のエンジンは風洞試験中、AEO、OEI、IEIの3種類の運転モード、および全発停止(エンジン推力係数 $C_j = 0.0$)状態で使用される。AEOは、4発のエンジンが全部同一の推力で作動する運転モードである。また、OEIは4発のうち、外側の第1エンジン(#1)が停止した条件での運転モードで、IEIは内側の第2エンジン(#2)が停止した条件の運転モードである。通常、効率良く風洞試験を進めるため、通風中、試験ケースに従ってエンジンを連続運転させて、その運転モードを逐次変更しながら空力特性の測定を行うようにしている。風洞試験中、2時間以上におよぶエンジンの連続運転は、3.4節で述べ

表 3.5-3 エンジン回転数・設定制御システムの構成機器—主要性能

| 構成機器 | 性能, 規格 |
|--------------------|--|
| DCサーボモータ | キャノン精機製 EN35-H114GB8 定格出力 2W |
| バルブ開度検出器 | 緑測器製 LP-20FB型 ストローク 20mm 抵抗体 コンダクティブプラスチック, 2kΩ 直線度 ±1% |
| 回転計 | Electro Products Lab製 3080型 検出方式 電磁誘導方式 |
| デジタル回転計 | アドバンテスト製 TR5101型 測定範囲 60~60×10 ⁴ rpm 計数時間 0.1/1.0 sec |
| デジタル入力 | コンテック製 PI32T型 TTLレベル, パラレル入力 64点 |
| AD変換器 | コンテック製 AD12-16TA 入力電圧 ±10v 入力チャンネル数 16 分解能 12ビット 変換速度 20μsec |
| DA変換器 | コンテック製 DA12-4 出力電圧 ±10v 出力チャンネル数 4 分解能 12ビット 変換速度 250μsec |
| パーソナル コンピュータ | 日本電気製 PC9801VM 使用言語 BASIC |
| エンジン制御バルブ の制御装置 | 多摩川精機製 TA2878 DCサーボモータドライブ方式 パルス幅変調 バルブ開度フィードバック 開度設定精度 ±0.03mm (目標値) |

たエンジンに供給する潤滑油の自動給油によってはじめて可能になった。試験中のエンジンの試験モードの変更は、図 3.5-8 のエンジンの運転遷移図に従って行われる。図中の矢印の方向に沿って、エンジンの運転モードが変更される。このとき、必要に応じて対象となるエンジンの起動や停止、さらに、エンジンのならし運転、回転数の設定制御が行われる。ここで、ならし運転とは、起動、停止対象のエンジンをその操作の前に、アイドル回転数(10,000 ~ 12,000 rpm)で指定された時間(約2分間) 運転を行う操作を言う。ならし運転は、エンジンの取扱説明書⁹⁾に規定されており、エンジン運転・遷移図で実線で示した遷移のときに、エンジンのベアリングの寿命を害さないように、必ず実施する必要がある。エンジンの運転はこの様にかなり煩雑であり、多数の試験ケース⁵⁾がある動力付模型の風洞試験を効率的に進めるために、その運転管理をコンピュータで自動化した。これによって、エンジンの運転オペレーションは、エンジンの運転モードの指定と設定しようとするエンジン推力係数 C_j の値与えるだけで、現在の

エンジン運転モードから、必要とするエンジンのならし運転、起動、停止、さらに、エンジン推力係数 C_j の設定変更をコンピュータが行う。エンジンの運転管理をコンピュータで自動化することにより、試験の効率化だけではなく、エンジン運転中の人為的なミスも少なからず防止できる。また、エンジン駆動用の高圧空気は、他の大型風洞施設と共用する立場からみると次のような問題がある。 $C_j = 1.85$ (あるいは 3.0)の運転が必要となる場合は、エンジンへの供給圧が 1.67MPa 以上と、最も高い圧力で作動しており、このとき供給元圧の低下を招かないように、他の大型風洞(間欠風洞)の起動待ちをお願いしている。そのため、間欠式風洞では、1日当たりの起動回数が低下するという問題が生じた。この問題に対しても、エンジンの運転管理の自動化によって、エンジンの運転モードの変更、エンジン推力係数 C_j の設定変更が迅速に行うことができるため、間欠式風洞の起動回転数低下の軽減も期待できた。

エンジン運転管理プログラムは、図 3.5-9 に示すように、AEOとOEIとIEI運転、推力ステップ状変化、正常

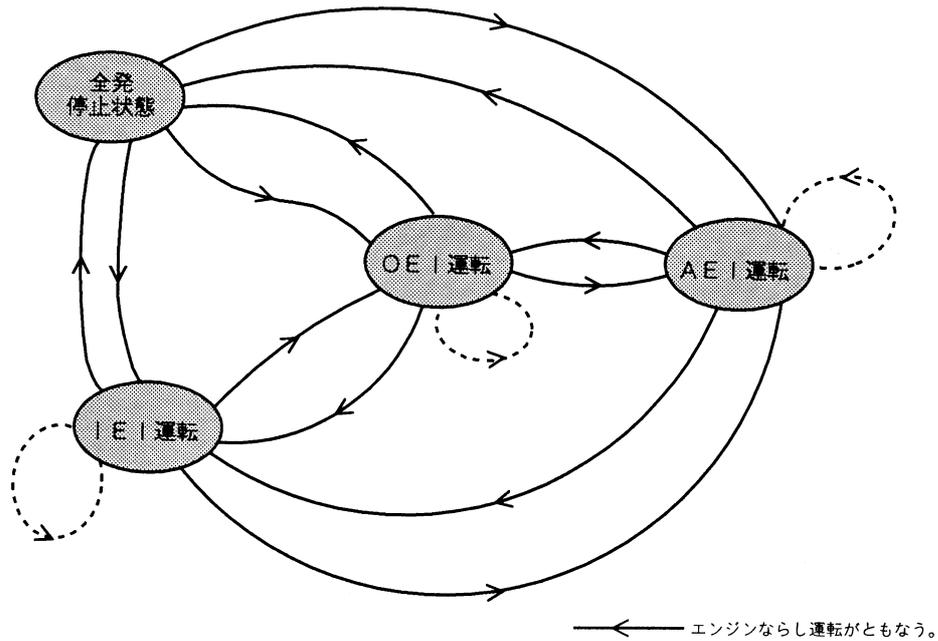


図 3.5-8 エンジン運転・遷移図

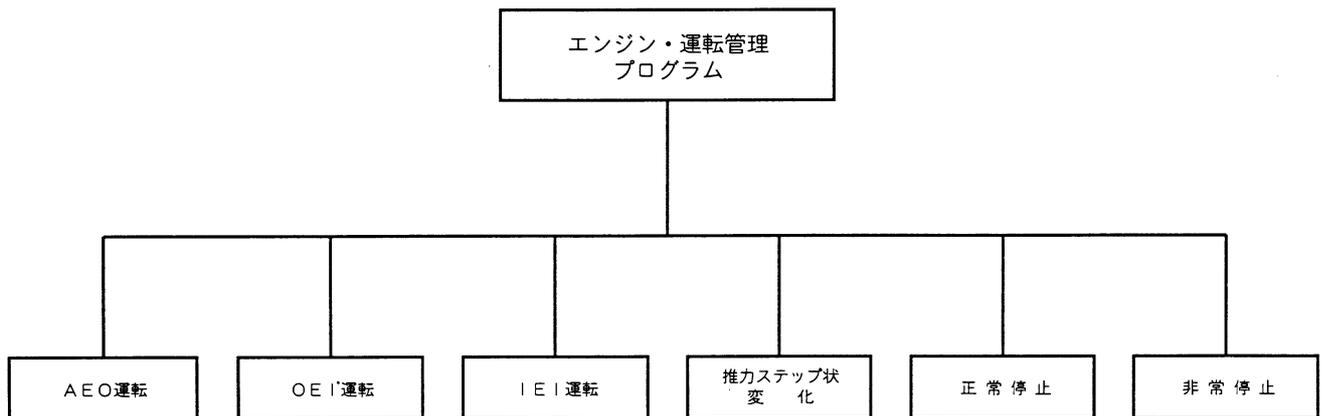


図 3.5-9 エンジン・運転管理プログラムの構成

停止、非常停止の6本のルーチンより構成されている。ここで、推力ステップ状態化ルーチンは、エンジンの推力係数をステップ状に変化させたときに、模型の6分力空力係数がどう変化するかを測定するために用意しているものである。正常停止ルーチンは、A E OとO E IとI E I運転を終了し、全エンジンを停止させるときに実行するルーチンで、必ずならし運転が行われる。非常停止ルーチンはエンジンを運転中、エンジン本体とその他に何らかの異常が発生した場合、ならし運転を行わずに緊急に全エンジンを停止させるルーチンである。ここでは、エンジンの運転モードのうち、代表的なA E O運転ルーチンの制御シーケンスについて説明する。

図 3.5-10 にエンジンのA E O運転を実行する制御シーケンスのフローを示す。まず、ファンクションキーを押してA E O運転ルーチンの実行を開始すると、プログラムは

エンジン推力係数 C_j の値を聞いてくる。ここで、設定する C_j の値を入力するとプログラムは、現在のエンジンの運転状態を判別し、ならし運転の実施が必要なエンジン(アイドリングエンジンと呼ぶ)を判別し、それを実行する。例えば、現在、全エンジンが停止状態にある場合は、全エンジンのならし運転を実行する。また、現在の運転モードがI E Iのときは、A E Oにするために停止している第3エンジン(#3)を起動し、ならし運転を実行する。これらは全てコンピュータが行う。所定のならし運転を終了すると次に、エンジン制御バルブの開度設定に移る。ここで使用するエンジン制御バルブの設定開度の値は、図 3.5-5 に示したバルブ開度 - エンジン回転数の静特性グラフから求めておいたもので、所定のエンジン推力係数を得るために必要なエンジン回転数の値である。この設定バルブ開度は、4発のエンジンについてあらかじめ、コン

コンピュータのルックアップ・テーブル上に、供給圧、推力係数 C_j に対応させて格納されている。図 3.5-11 にエンジン制御バルブ・開度設定の制御シーケンスを示す。このルーチンの実行により、エンジン取扱説明書に規定されているエンジン回転数の加速、減速パターンを指定することができる。しかし、このエンジン制御バルブ開度設定の実行によって、エンジンの回転数を目標値の近傍まで速やかに

に設定することができるが、このルーチンはエンジンの回転数に対して、オープンループであるため、このままでは、外乱等による回転数に偏差が生じる。そこで、次にエンジンの回転数設定ルーチンが実行されて細やかな回転数の調整が行われる。図 3.5-12 にその制御シーケンスを示す。このルーチンでは、図 3.5-1 の推力特性から求めた各エンジンの回転数の目標値(表 3.5-1 に示した値)がセットされ、

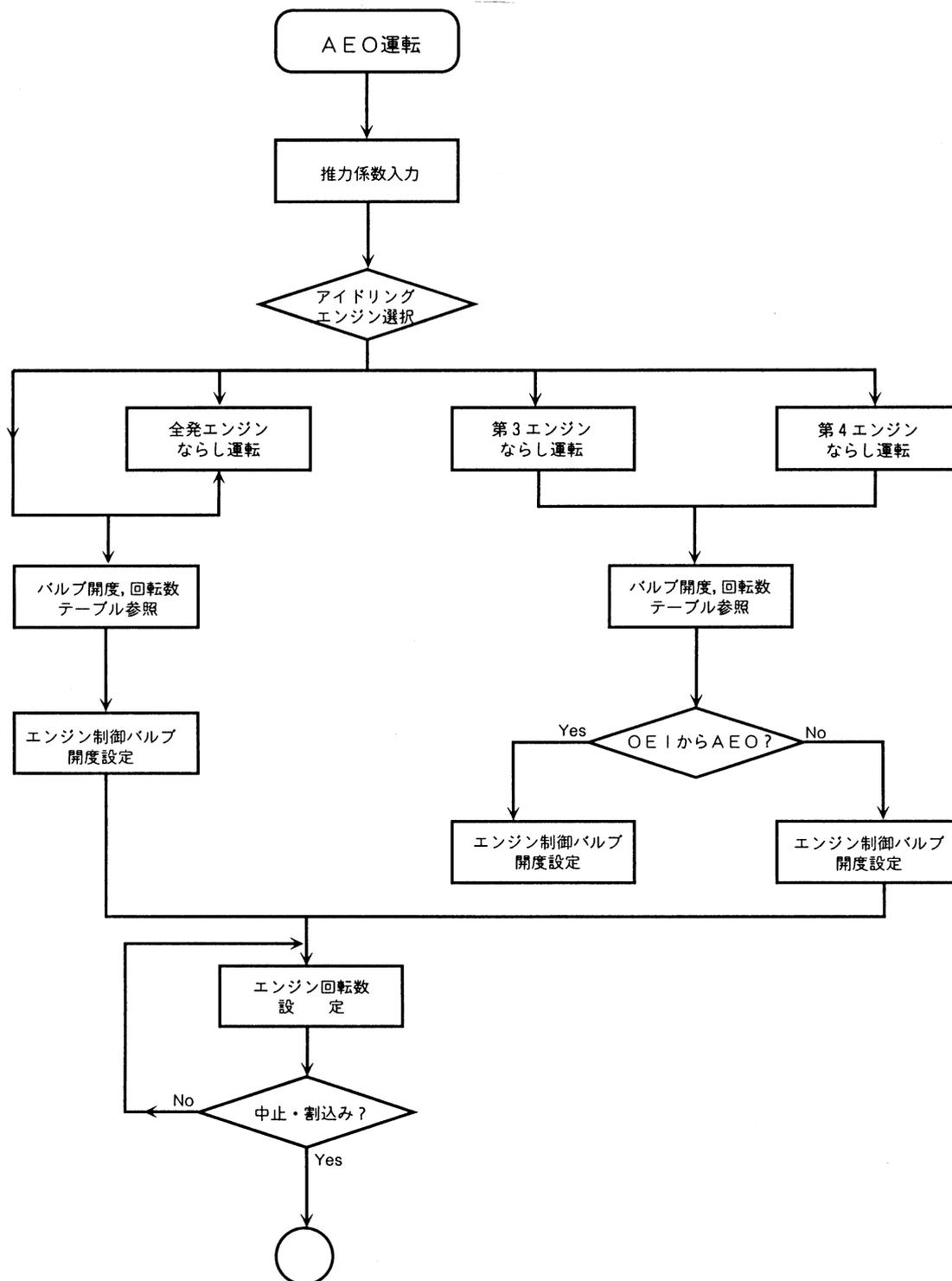


図 3.5-10 エンジン・AEO 運転の制御シーケンス

逐次、第1エンジン(#1)から第4エンジン(#4)まで、シーケンシャルに回転数の設定制御が行われる。なお、OEIあるいはIEIの運転モードでは、停止対象のエンジンの回転数制御はスキップしている。シーケンシャルに行われるエンジン毎の回転数制御は、前述した空気軸受継手に供給する空気の圧力定値制御と同様、Incremental Adjustment方式により行っている。積分動作が行われ、測定したエンジンの回転数と目標値との偏差が、許容値内(風試では±250rpm程度)になるまで、エンジン制御バルブ開度のオープン、クローズ調整が繰り返される。エンジンの

回転数の制御中は、コンピュータのモニタ画面に、各エンジンの回転数の目標値、現在値、偏差値が表示され、オペレーションの便宜を計っている。以上、説明したエンジン運転管理プログラムのソースリスト(BASIC)を付録Bに掲げる。

本プログラムのエンジン回転数の制御性能として、間欠式風洞の起動に伴う供給圧の大幅低下による外乱を除けば、風試中、目標値との偏差は±300rpm以内に収まる結果を得た。この偏差量はエンジン推力の変動として見た場合(図3.5-1参照)、実用上問題にならないオーダーであ

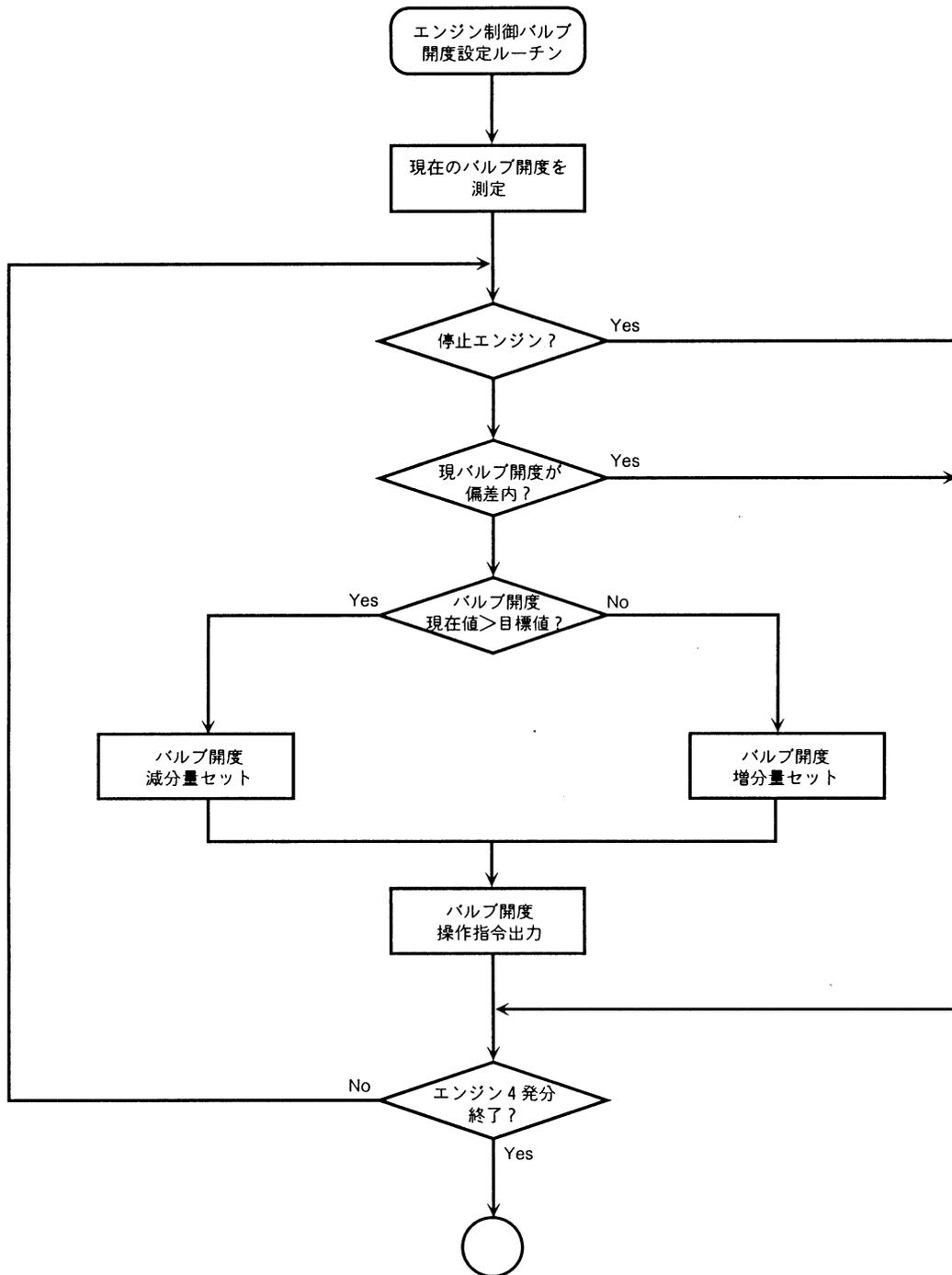


図 3.5-11 エンジン制御バルブ・開度設定ルーチン

る。エンジン制御バルブの開度設定ルーチンの動作では、エンジン制御バルブのバックラッシュが原因と思われる現象(バルブ設定に対するエンジン回転数の再現性劣化)が見られた。しかし、エンジン回転数設定ルーチンの積分動作より、最終的なエンジンの回転数設定制御には、ほとんど問題を生じなかった。なお、スイープ(= - 10 ~ + 38 deg の範囲)試験では、迎角の増加に伴ってエンジン

のインテークがストール(エンジンに流入する流量が減少する)を起こし、迎角の増加とともにエンジンの回転数が数千 rpm 程度減少してしまう。この様な外乱に対しても、本プログラムは良好に対応し、動作している。また、特にデータはなく定性的にはあるが、本プログラムの使用により、従来に比べ風洞試験の効率が向上した。また、間欠式風洞との高圧空気の共同使用に関しても、比較的良好に

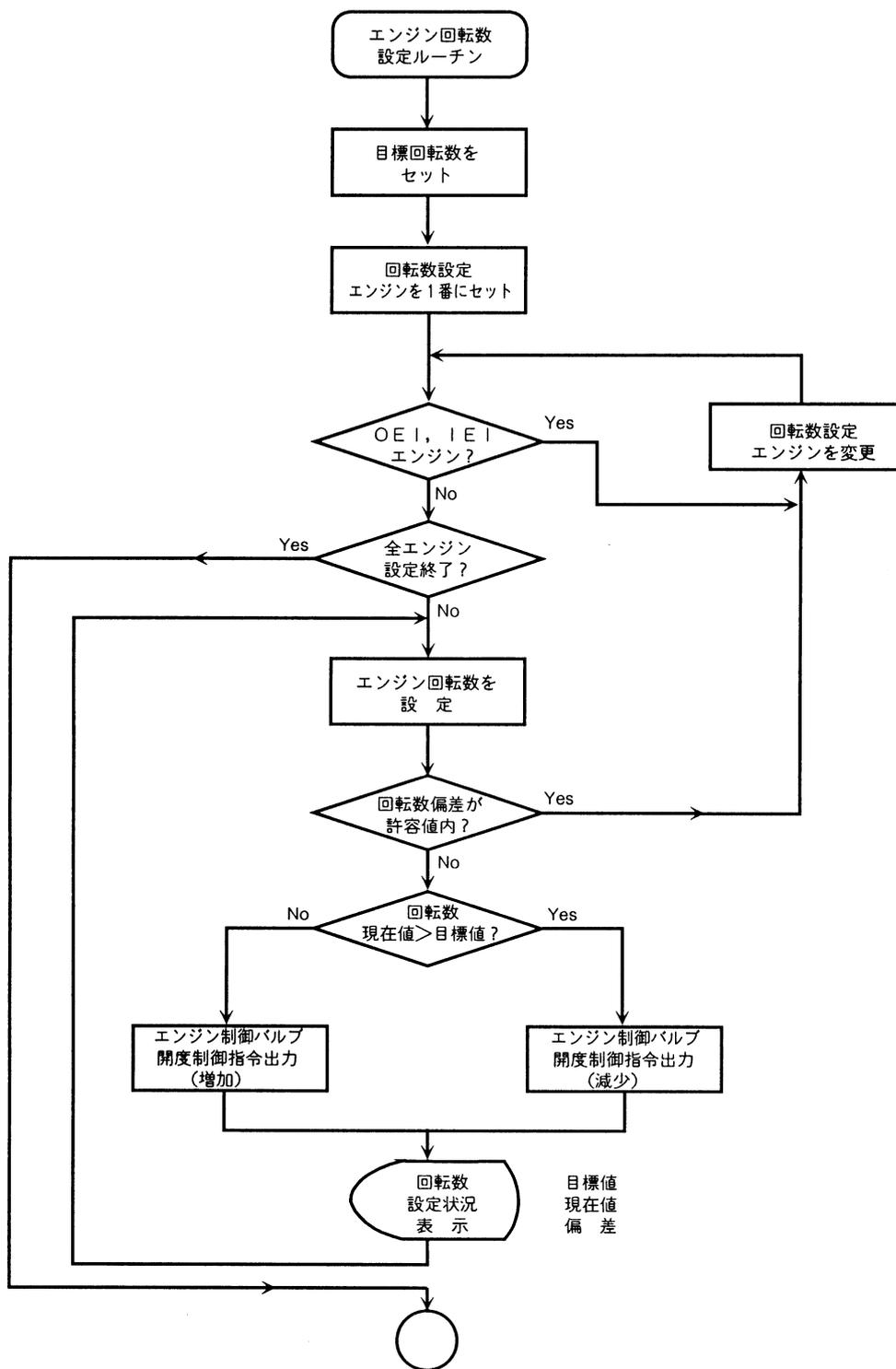


図 3.5-12 エンジン回転数設定ルーチン

運用された。

本プログラムは現有するコンピュータの性能、機能および時間的な制約から、ここに説明したように BASIC で記述し、簡便な制御とした。今後、さらにエンジンの回転数制御の性能を向上、具体的には偏差を減少、応答性を良くするために、実行速度の早いC言語を採用し、PIDを使った回転数制御¹⁰⁾や、4発のエンジンの並列制御(タイムシェアによる見かけ上の)を行うこと。さらに、安全モニタを含めた総合的なエンジンの運転管理プログラムの導入が必要である。

4. 機能試験

4.1 漏洩流量・浮上試験

空気軸受継手は第3節で述べたように、空気軸受方式の非接触型高圧配管継手である。空気軸受継手はジャーナル軸受部とスラスト軸受部の機能を維持するために、エンジンに供給する高圧空気の一部を必要流量として外部に漏洩させることであり、その漏洩流量が少ないほど性能が良いことになる。

本節では漏洩流量・浮上量の試験方法、試験結果と理論計算値との比較について述べる。

4.1.1 漏洩流量・浮上量の試験装置および試験方法

実験装置の構成は図 4.1-1 に示すように、空気軸受継手本体、実験台、圧力容器、高圧配管、圧力調整バルブ、圧

力変換器およびアニューパー流量計からなる。試験方法は、空気軸受継手本体の出力軸筒のフランジに盲蓋をしてピアノ線で吊し、内側偏心浮軸から持ち上げて浮かした状態で実験台上に固定し、内側偏心浮軸と外側偏心浮軸に影響を及ぼさないようにして、漏洩流量測定と浮上量測定を実施した。漏洩流量測定試験では配管の一部にアニューパー流量計を設けて、供給圧を 0.2 MPa から 2.0 MPa まで変化させて空気軸受継手本体からの漏洩流量の計測を行った。また、浮上量測定試験では図 4.1-2 に示すように、電気導通法を用いて浮上量を測定した。

4.1.2 漏洩流量計算と浮上量計算

(a) 漏洩流量計算

空気軸受継手のジャーナル軸受部(空気軸受部の潤滑面)の各微細給気孔(0.3)と、スラスト軸受部(空気浮上用潤滑面)からなる各微細給気孔(0.3)の漏洩流量(Qs)計算は、レイノルズ数方程式^{11,12)}を解くことによって得られる。そのレイノルズ数方程式は、気体の運動方程式、連続の式、気体の状態方程式およびエネルギー方程式を連立させ、展開すると、下記の計算式となる。なお、計算に用いた本継手の寸法諸元は、表 3.3-2 に掲げたものを用いた。

ジャーナル軸受部とスラスト軸受部の各微細吸気孔からの漏洩流量(Qs)は下式で表される。

$$Q_s = D_s \cdot C_o \cdot a \cdot \frac{P_s}{\sqrt{RT}} \quad (\text{Kg/sec})$$

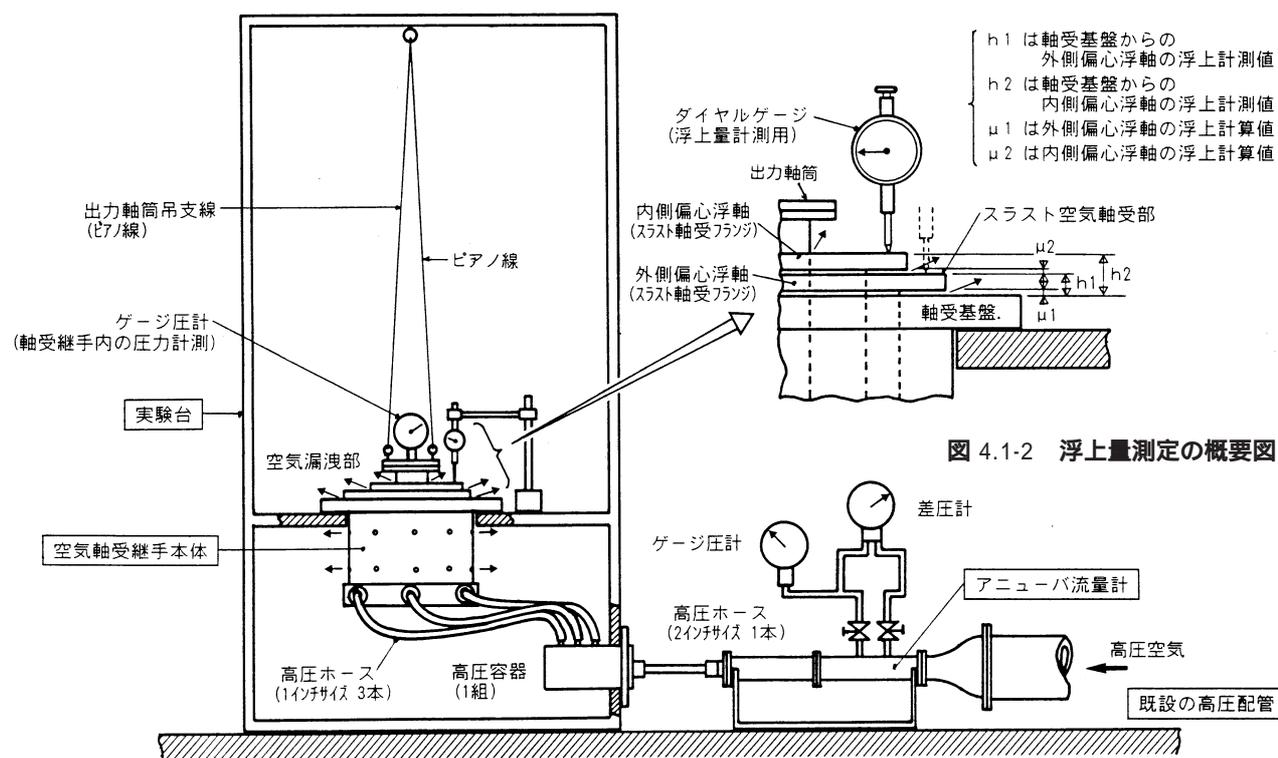


図 4.1-1 漏洩流量・浮上量の測定装置の概要図

図 4.1-2 浮上量測定の概要図

h1 は軸受基盤からの外側偏心浮軸の浮上計測値
h2 は軸受基盤からの内側偏心浮軸の浮上計測値
u1 は外側偏心浮軸の浮上計算値
u2 は内側偏心浮軸の浮上計算値

ただし、 D_s は下記の条件によって決まる。

$$\frac{P_o}{P_s} \geq \left(\frac{2}{K+1}\right) \frac{K}{K-1} \text{ のとき } D_s = \sqrt{2g \frac{K}{K-1} \left[\left(\frac{P_o}{P_s}\right) \frac{2}{K} - \left(\frac{P_o}{P_s}\right) \frac{(K+1)}{K} \right]}$$

$$\frac{P_o}{P_s} < \left(\frac{2}{K+1}\right) \frac{K}{K-1} \text{ のとき } D_s = \sqrt{2g \frac{K}{K+1} \left(\frac{2}{K+1}\right) \frac{2}{(K-1)}}$$

また、ジャーナル軸受部の空気シール部(潤滑面)からの漏洩流量(Q_j)は下式で表される。

$$Q_j = \frac{\pi \rho}{24\mu} \cdot \frac{P_s^2 - P_o a^2}{P_a} \cdot h^3 \frac{D}{L} \quad (\text{Kg/sec})$$

ここで、 P_s は供給圧、(大気圧)、 g は重力加速度、 K は断熱係数、 C_o は流量係数、 a は給気孔面積である。また、 h はすきま、 μ は空気の粘性係数、 D 、 L はシール部の径と長さ、 ρ は空気の密度である。

そして、総漏洩流量(Q_a)は

$$Q_a = Q_s + Q_j$$

となる。

(b) 浮上量計算

スラスト軸受部の浮上量の計算は、前記のレイノルズ数方程式を解く過程において得られ、下式による。

$$h a = \sqrt{\frac{a^2}{\pi (\pi d^2 - 4a^2)}}$$

ここで、 a はオリフィス面積、 d は給気孔径、 $h a$ は浮上量(浮上隙間)である。

4.1.3 漏洩流量試験結果と計算値の比較

図 4.1-3 は漏洩流量計測結果と計算値との比較をしたものである。横軸には継手に供給した給気圧を、左縦軸に継手の漏洩流量(N / sec)をとり、実測値を○印で、計算

値を点線で表した。また、右縦軸には A E O(4 発エンジン作動)の使用流量(供給圧 1.6 MPa において約 1.3 kg/sec)に対する継手からの漏洩流量の流量比をとった。

漏洩流量における実測値と計算値の比較は、ほぼ傾向が一致しているが実測値の方が、平均で 15% 程、大きな値になっている。これらの違いは多数の給気孔の加工精度や各軸受部加工の真円度等による蓄積誤差と思われる。また、エンジン流量に対する継手本体からの漏洩流量の割合は、供給圧が 0.2 ~ 1.7 MPa の範囲で 2.5 ~ 6.6(%)と、それほど多くの空気を浪費しないで機能を維持できことが確認できた。

4.1.4 浮上試験結果と計算値の比較

各浮軸の浮上量実測値と計算値を図 4.1-4 に示す。横軸は継手に供給した給気圧、縦軸に各浮軸の浮上量をそれぞれ印、印でプロットし、計算値を点線で表した。

浮上量実測値と計算値の関係は、外側偏心浮軸で傾きに差が生じているが、ほぼ一致している。また、内側偏心浮軸については、実測値が平行に 20 μm ほど小さくなっている。この違いは、上部スラスト軸受部の多数の微細孔の加工精度の蓄積誤差等によると思われる。

4.2 配管干渉試験

本設では、前節で述べてエンジン付模型「飛鳥模型」、配管干渉除去装置、圧力配管等の各実験装置を既設の風洞内に実装した状態で、各種配管干渉試験を実施したので、その試験について述べる。

4.2.1 供給圧変化による天秤への影響

その方法は配管干渉除去装置の機能を確認するために、エンジン制御バルブ(模型内)を閉めた状態(推力無し)にし

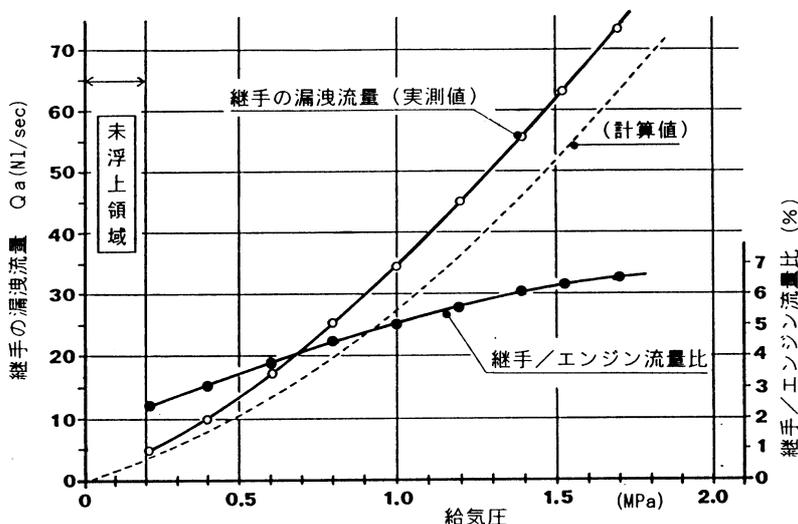


図 4.1-3 軸受継手本体の漏洩流量値(計測値と計算値の比較)

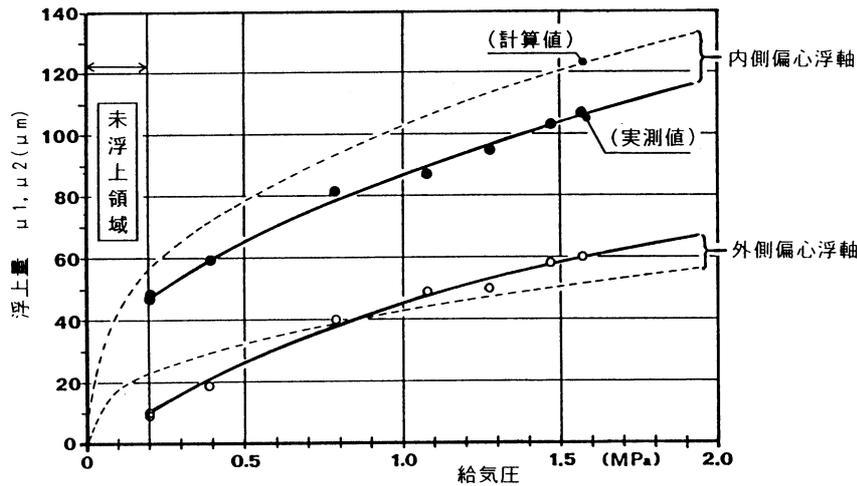


図 4.1-4 各スラスト空気軸受部の浮上量(計測値と計算値の比較)

て、エンジンへの供給圧 (Pa) を一定に保ち、供給圧を変化させたときの天秤出力への影響を見た。その結果を図 4.2-1 ~ 図 4.2-6、横軸に供給圧を、縦軸に 6 分力のそれぞれの出力(揚力、横力、抗力、縦揺れモーメント、偏揺れモーメントおよび横揺れモーメント)を示した。

図中、実線で 2 本平行に返かれてるのが、天秤の公称精度であり、天秤定格の ± 0.1% 相当の線である。揚力と偏揺れモーメントは、加圧時と減圧時の再現性は良好である。その他の天秤出力については若干の戻りの悪さが見られるが、どれも公称精度以内に入っているため、実用的に問題はない。

4.2.2 天秤校正

天秤校正は前記と同様に、エンジン制御バルブをしめて配管の供給圧を一定に保った状態し、天秤校正を行い配管干渉除去装置の配管干渉除去機能を確認した。その結果を図 4.2-7 ~ 図 4.2-12 に示す。また、測定精度を上げる為に、天秤のロードセル(力を電気出力に変換する)の規格容量を半分にした半容量型天秤状態で実施した。校正は揚力、横力、抗力、縦揺れモーメント、偏揺れモーメントおよび横揺れモーメント、それぞれに個別に荷重を加える方法で行った。その時の、それぞれの天秤出力について、配管干渉除去装置(空気軸受継手)を付けない通常の場合(印) 供給圧を 1.079 MPa の場合(印) および供給圧を 1.667 MPa (17 Kgf/cm²) の場合(印) を合わせて示した。図から、空気軸受継手を付けてない通常の場合(印)と、空気軸受方式の配管干渉除去装置を付けて加圧した場合を比べたとき、三者はほとんど一致しており、配管干渉除去装置として優れた装置であることがわかった。

表 4.2-1 に STOL 模型による風洞試験時に使用した半容量型天秤の定格値と天秤定数を示した。この時の供給圧は 1.079 MPa である。

天秤定数を求めるにあたっては、天秤に働く力を電氣的に変換するロードセルの励起電圧(通常約 9 V)およびロードセル出力信号を増幅する増幅器の倍率(通常約 1000 倍)で割った値を使っている。これにより風洞試験時の励起電圧と増幅器の倍率の変動による影響を補正できるようにしている。

図 4.2-13 ~ 図 4.2-18 には、供給圧が 1.079 MPa の状態での、揚力、横力、抗力、縦揺れモーメント、偏揺れモーメントおよび横揺れモーメントのそれぞれに個別に荷重を加えた天秤校正データを入力値として、表 4.2-1 に示す天秤定数を適用して、それぞれに働く力を算出し、実際に加えた荷重(真値)との誤差を求めて図示した。図中の 2 本の平行な実線は、天秤定格に対する公称精度である ± 0.1% の値を示している。どれもこの精度範囲内に入っており、配管除去装置に空気圧を供給しても天秤の精度の劣化はないといえる。

4.2.3 風袋補正

無通風時において、模型を天秤にセットした状態で姿勢角を変化させたとき、通常、模型重量により姿勢角に応じて、天秤出力に変化が見られる。この出力を補正するのが風袋補正である¹²⁾。配管干渉除去装置の有無により、姿勢角の変化に対する天秤出力への影響を調べた。模型本体でこの比較を行う代わりに、天秤の 2 本支柱(太い前支柱で模型を保持し、細い後支柱で迎角設定を行う)間に Tie Bar (一般に模型無の時に天秤校正に用いる治具)を橋渡しして行った。

大型低速風洞の天秤は、原理的に姿勢角の変化に対し出力が現れるのは、迎角変化に対しては縦揺れモーメント、横滑り角変化に対しては縦および横揺れモーメントである。

図 4.2-19 には、横滑り角を 0° 一定にして、迎角を変化

させた時の縦揺れモーメント出力を示す。図中 印が配管干渉除去装置(空気軸受継手)無しの時、印が配管干渉除去装置付(Pa = 1.079 MPa)の時の値である。迎角の大きな所で両者に若干の差異が見られる。図 4.2-20 と図 4.2-21 には、迎角を一定にして、横滑り角を変化させた時の縦揺れモーメントおよび横揺れモーメントのそれぞれの出力

を示した。図 4.2-20 の縦揺れモーメント出力は若干ばらつきが見られるが、大略天秤精度以内に入っている。図 4.2-21 の横揺れモーメント出力は配管干渉除去装置無しでの値がほとんどゼロに近く、値としては、空気軸受継手付きでの今回の値の方が正しいと考えられる。

表 4.2-1 半容量型天秤(空気軸受継手付 Pa=1.079MPa)の定格値と天秤定数(天秤出力値を励起電圧(単位mV)と増幅器倍率で割った値で整理)

| | | | | | | | |
|--------|----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 天秤定格値 | | 11.278 kN | 1.961 kN | 1.961 kN | 2.942 kN・m | 2.942 kN・m | 2.942 kN・m |
| 感度係数 | +側 | 1.2721×10 ⁷ | 2.2164×10 ⁶ | 2.3725×10 ⁶ | 5.5778×10 ⁶ | 3.3777×10 ⁶ | 3.3198×10 ⁶ |
| | -側 | 1.2721×10 ⁷ | 2.2164×10 ⁶ | 2.3725×10 ⁶ | 5.5864×10 ⁶ | 3.3691×10 ⁶ | 3.3183×10 ⁶ |
| 干渉補正係数 | +側 | 1.00000 | - .44752×10 ⁻² | - .55997×10 ⁻³ | .14095×10 ⁻¹ | .17756×10 ⁻² | .16344×10 ⁻¹ |
| | | - .50033×10 ⁻³ | 1.00000 | - .70465×10 ⁻³ | - .11291×10 ⁻² | .51241×10 ⁻² | .24955×10 ⁻² |
| | | .88700×10 ⁻⁴ | .20479×10 ⁻² | 1.00000 | - .66791×10 ⁻³ | - .27551×10 ⁻² | - .65763×10 ⁻² |
| | | .10639×10 ⁻³ | - .68092×10 ⁻⁵ | - .14279×10 ⁻² | 1.00000 | - .28304×10 ⁻² | - .20530×10 ⁻² |
| | | .55117×10 ⁻³ | .20211×10 ⁻² | - .66684×10 ⁻³ | - .40883×10 ⁻² | 1.00000 | .64820×10 ⁻² |
| | | - .59373×10 ⁻⁴ | .46672×10 ⁻⁴ | - .68362×10 ⁻³ | .18519×10 ⁻² | .78507×10 ⁻² | 1.00000 |
| 干渉補正係数 | -側 | 1.00000 | - .44752×10 ⁻² | - .55997×10 ⁻³ | .14095×10 ⁻¹ | .17756×10 ⁻² | .16344×10 ⁻¹ |
| | | - .50033×10 ⁻³ | 1.00000 | - .70465×10 ⁻³ | - .11291×10 ⁻² | .51241×10 ⁻² | .24955×10 ⁻² |
| | | .88700×10 ⁻⁴ | .20479×10 ⁻² | 1.00000 | - .66791×10 ⁻³ | - .27551×10 ⁻² | - .65753×10 ⁻² |
| | | .45342×10 ⁻⁴ | - .24127×10 ⁻³ | - .58193×10 ⁻³ | 1.00000 | - .26147×10 ⁻² | - .17381×10 ⁻³ |
| | | .61785×10 ⁻³ | - .62126×10 ⁻³ | - .24201×10 ⁻² | - .28442×10 ⁻² | 1.00000 | .43772×10 ⁻² |
| | | - .35970×10 ⁻⁵ | .69234×10 ⁻⁴ | - .61154×10 ⁻³ | .19830×10 ⁻² | .77304×10 ⁻² | 1.00000 |

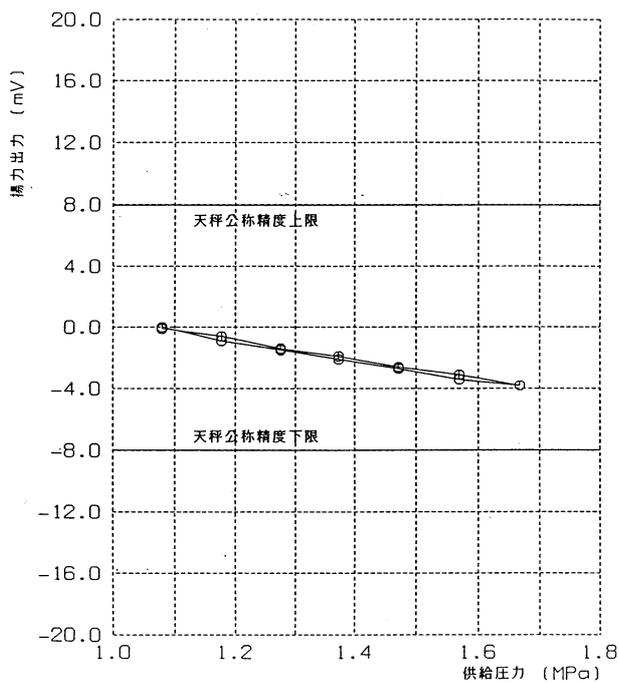


図 4.2-1 配管干渉除去装置加圧による天秤出力への影響(揚力)

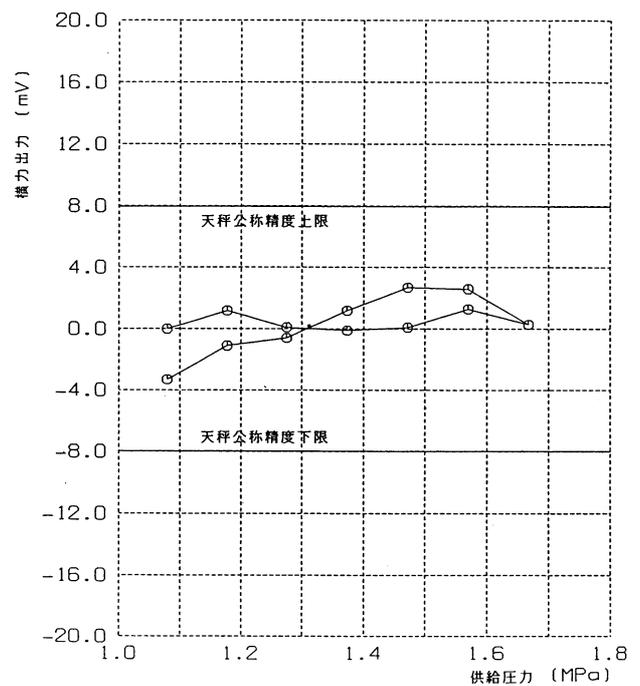


図 4.2-1 配管干渉除去装置加圧による天秤出力への影響(横力)

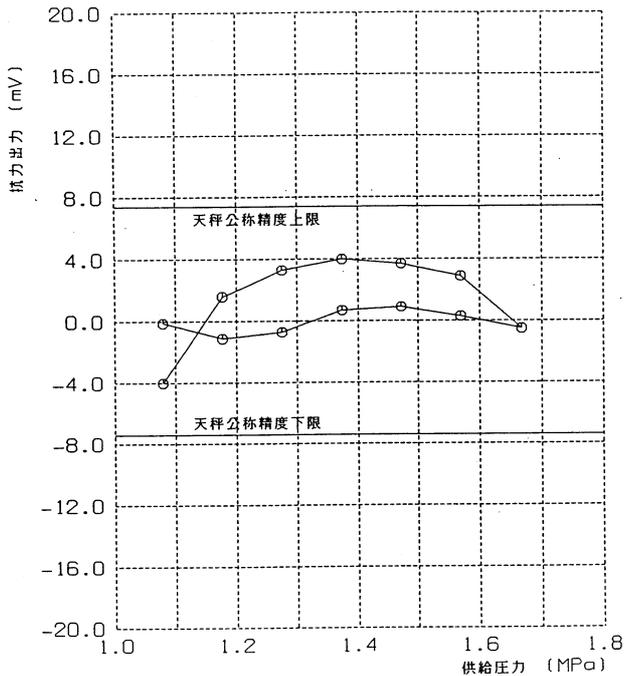


図 4.2-3 配管干渉除去装置加圧による天秤出力への影響(抵抗力)

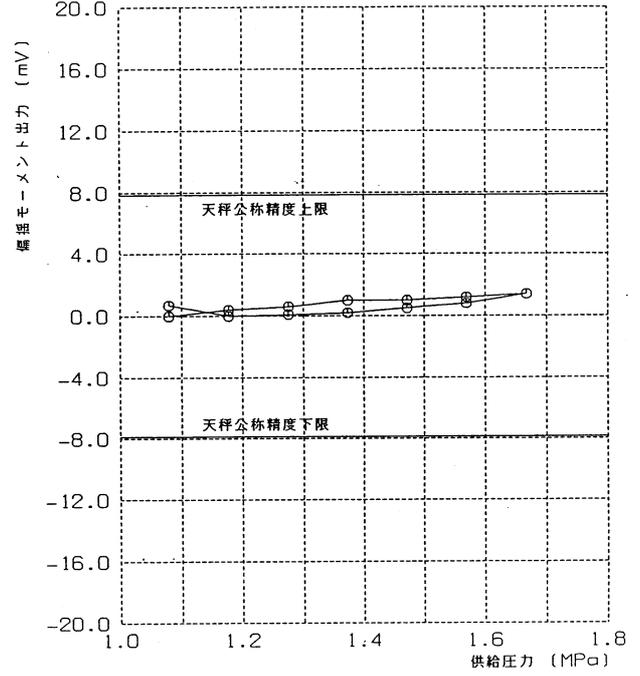


図 4.2-5 配管干渉除去装置加圧による天秤出力への影響(偏揺モーメント)

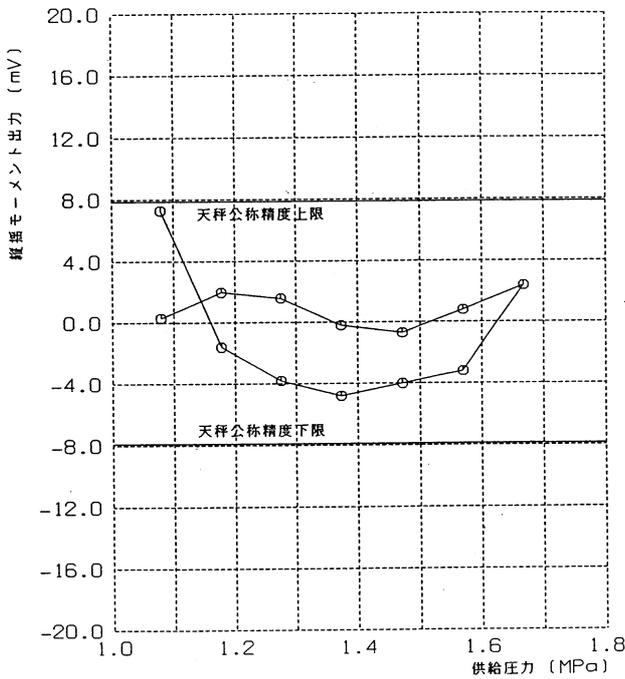


図 4.2-4 配管干渉除去装置加圧による天秤出力への影響(縦揺モーメント)

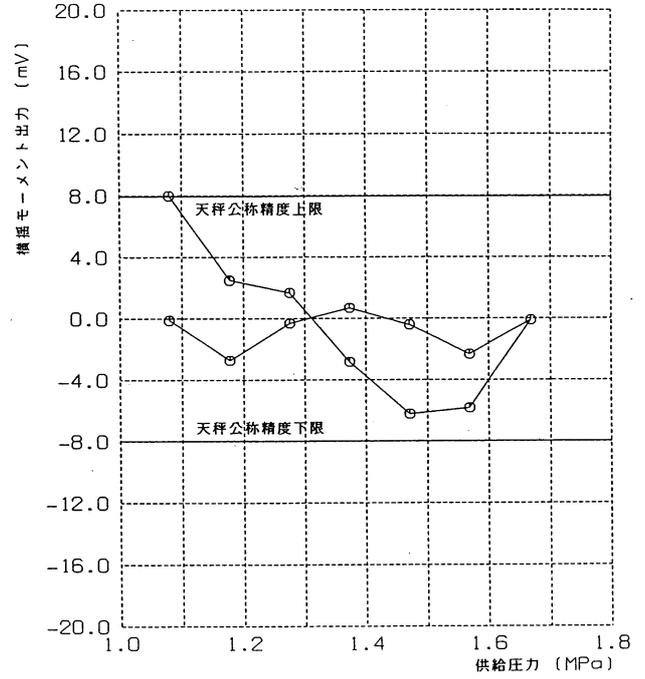


図 4.2-6 配管干渉除去装置加圧による天秤出力への影響(横揺モーメント)

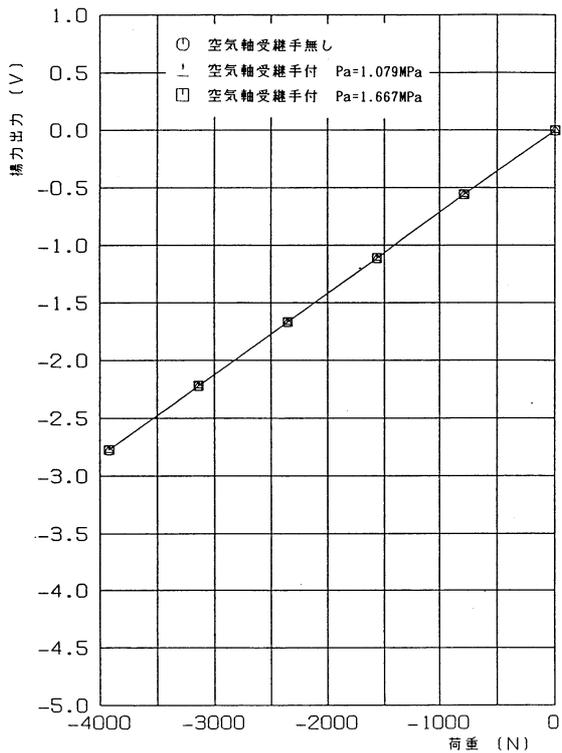


図 4.2-7 天秤校正データ(揚力)

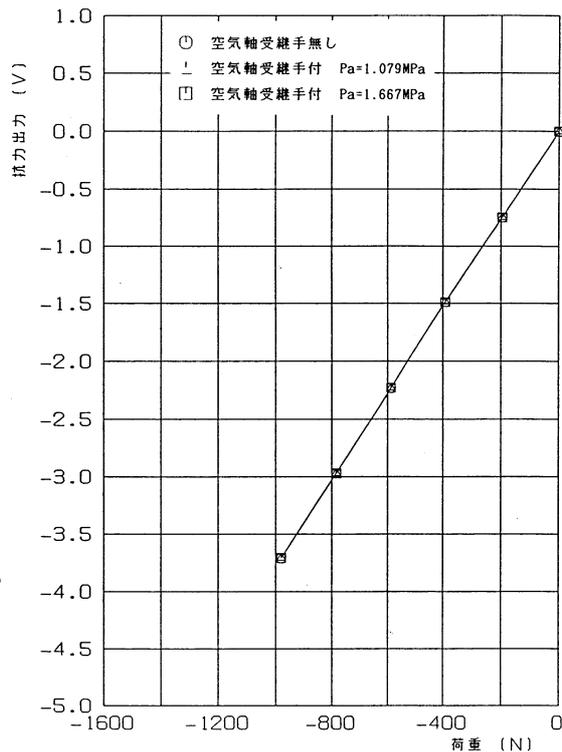


図 4.2-9 天秤校正データ(抗力)

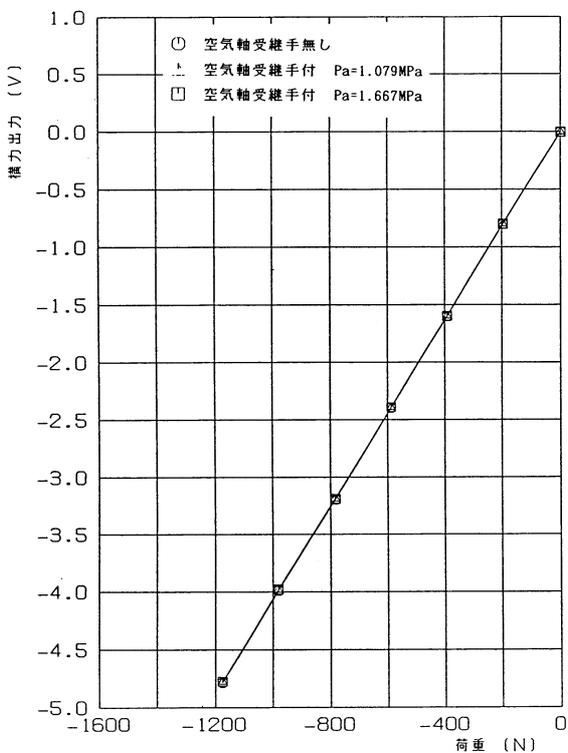


図 4.2-8 天秤校正データ(横力)

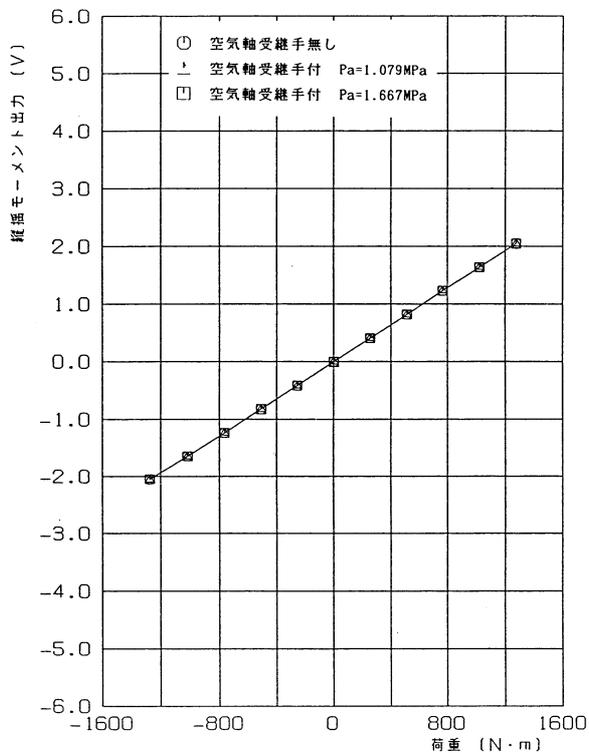


図 4.2-10 天秤校正データ(縦揺モーメント)

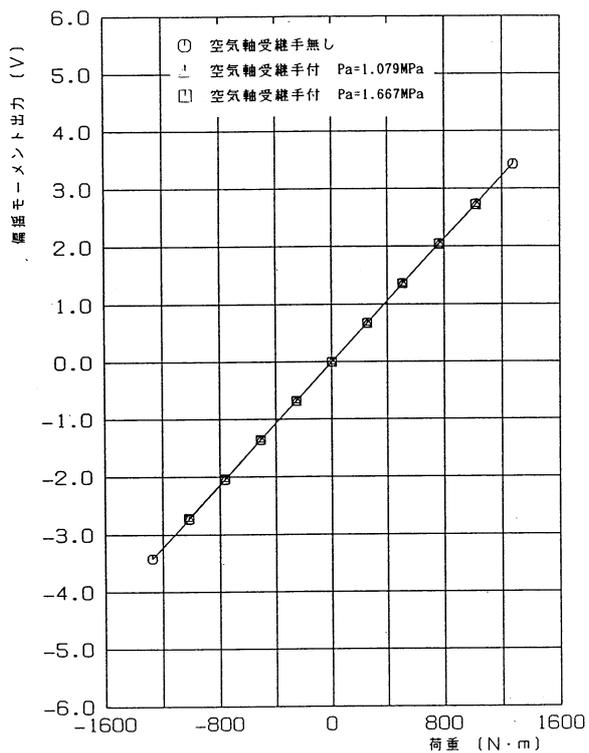


図 4.2-11 天秤校正データ(偏揺モーメント)

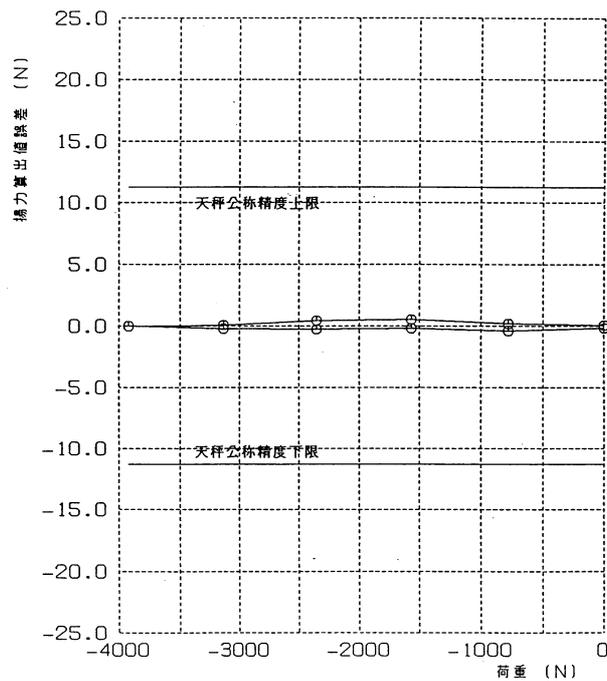


図 4.2-13 天秤校正時データを入力して算出された値の誤差(揚力)

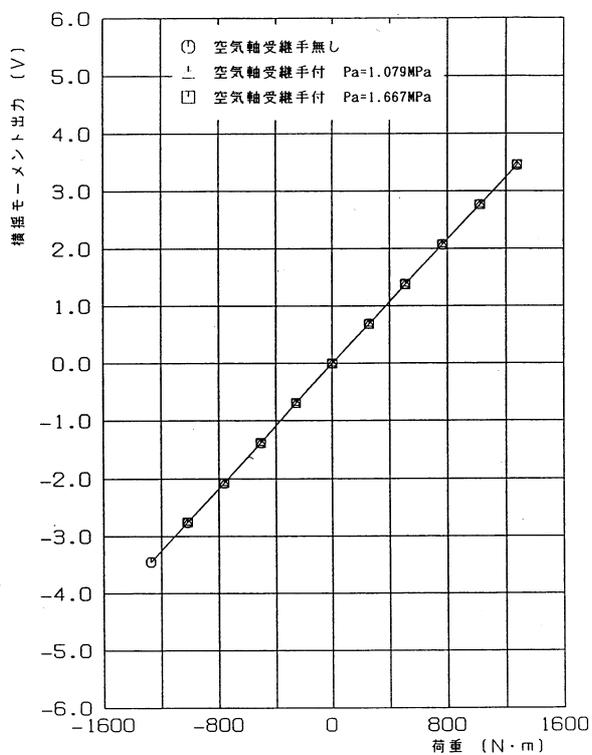


図 4.2-12 天秤校正データ(横揺モーメント)

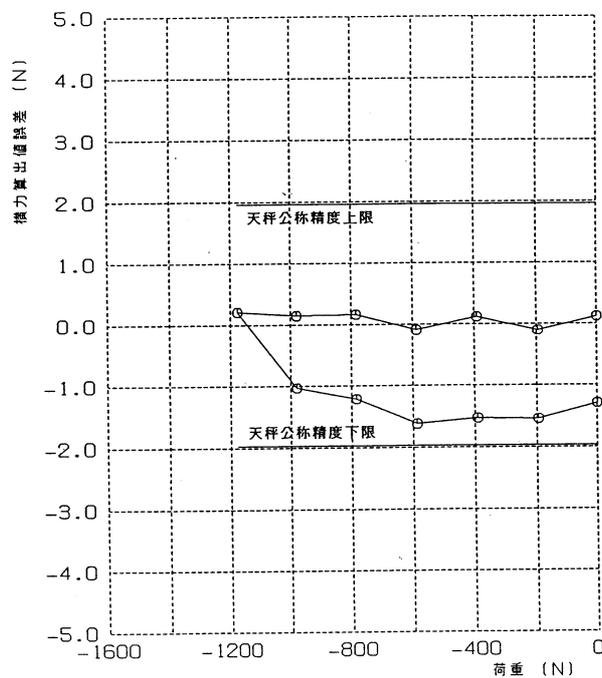


図 4.2-14 天秤校正時データを入力して算出された値の誤差(横力)

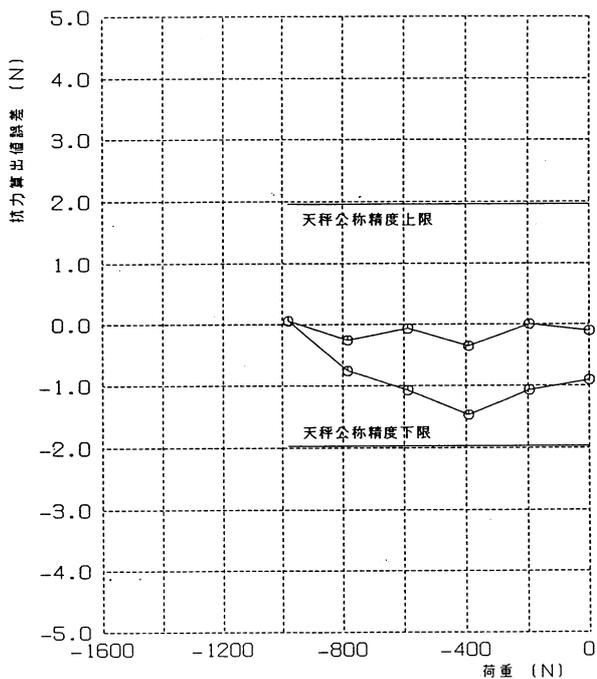


図 4.2-15 天秤校正時データを入力して算出された値の誤差(抗力)

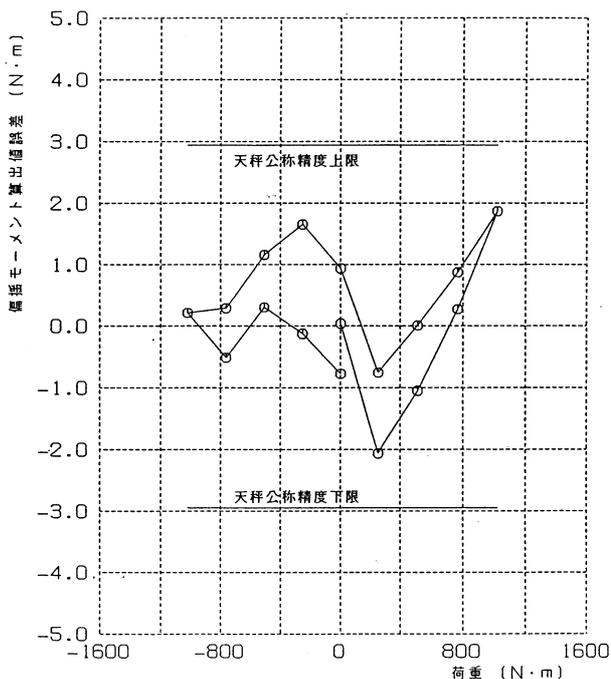


図 4.2-17 天秤校正時データを入力して算出された値の誤差(偏揺モーメント)

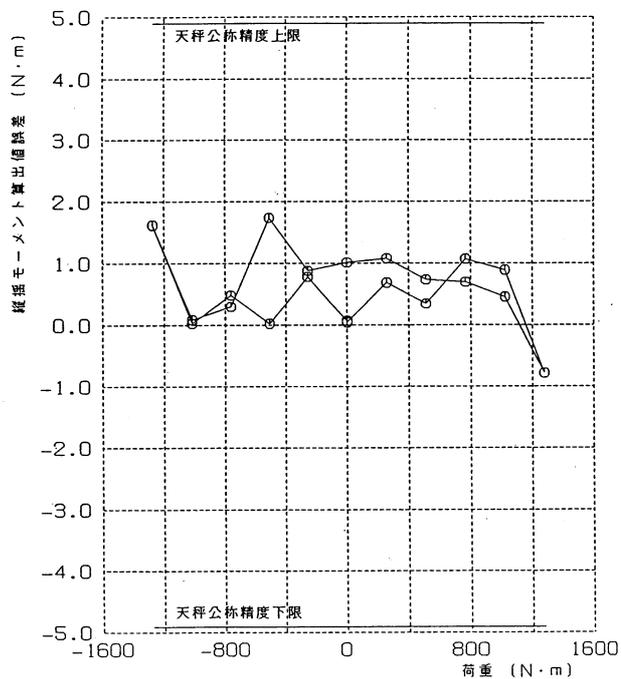


図 4.2-16 天秤校正時データを入力して算出された値の誤差(縦揺モーメント)

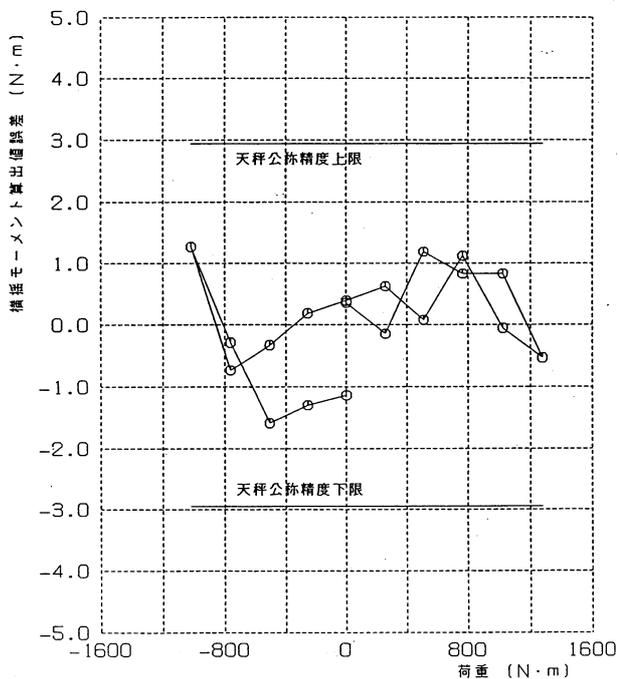


図 4.2-18 天秤校正時データを入力して算出された値の誤差(横揺モーメント)

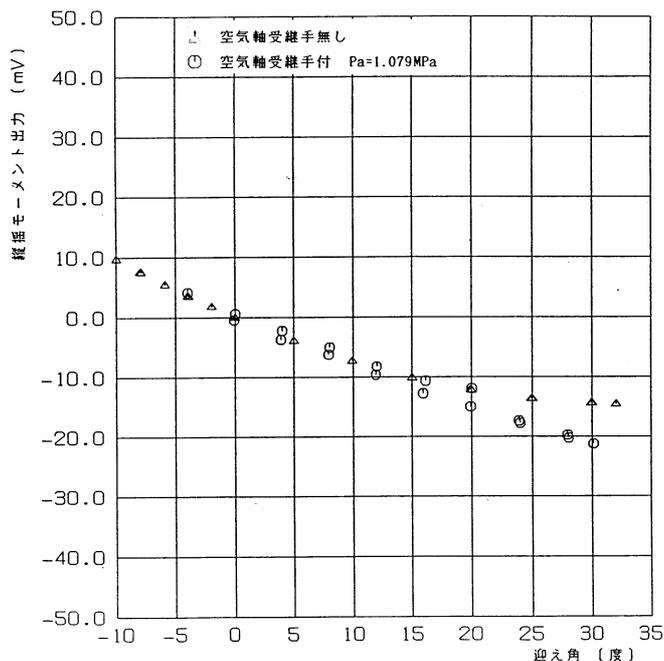


図 4.2-19 横すべり角 0° として迎角を変化させた時の縦揺モーメント出力

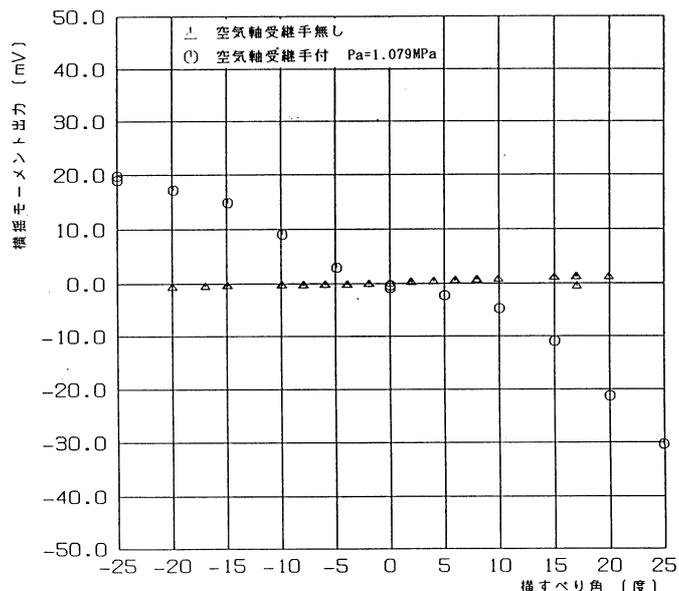


図 4.2-21 迎角 0° として横すべり角を変化させた時の縦揺モーメント出力

5. 推力調整

動力付模型の風洞試験において、実機の飛行状態を模擬した風洞試験を行うためには、模型やエンジン・ナセルを実機と相似な形状にする幾何学的相似則を満足させることは当然であるが、動力装置の特性、性能等空気力学的な相似則を満足させる必要がある。

空気力学的な現象は、運動方程式、エネルギー式、気体の状態方程式の3つの方程式で記述することができるが、空気力学的な相似パラメータはこれらの方程式に含まれる物理量の組合せでできている。例えば、粘性の影響を表す相似パラメータはレイノルズ数 $Re = UL / \nu$ であり、圧縮性を表す相似パラメータはマッハ数 M であるといったものである。

動力付模型の風洞試験を行う目的は、動力装置によって模型に働く空気力の影響を定量的に求め、実機に働く空気力を推算することである。従って、風洞試験においては空気力学的相似パラメータを実機と合わせなければ、精度の高い実機空力特性の推算ができない。すべての相似パラメータを合わせることは不可能に近いが、求めようとしている空力的な現象、特性が、特定の相似パラメータの卓越した影響に基づいているならば、影響力の大きい、限られた相似パラメータを合わせれば、風洞試験の結果から十分精度の高い実機特性の推算が可能となる。

ジェット・エンジン付模型を用いた風洞試験における空気力学的な相似パラメータには、温度比 (T_j / T) 、密度比 (ρ_j / ρ) 、速度比 (U_j / U) 等の基本パラメータ

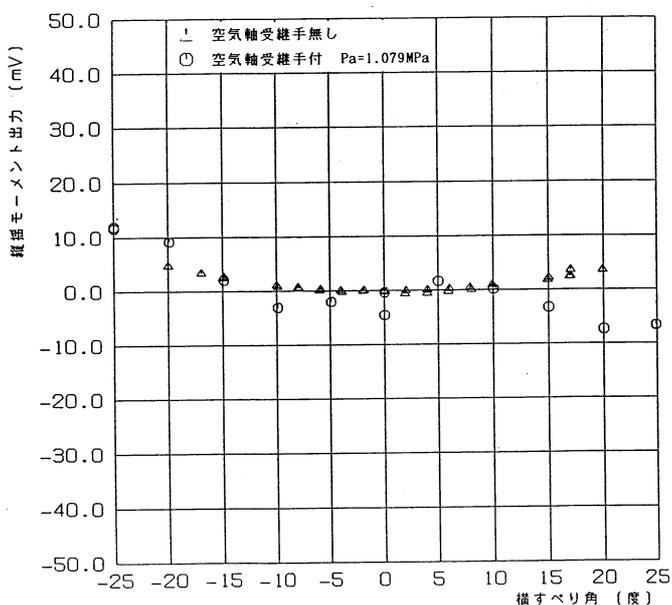


図 4.2-20 迎角 0° として横すべり角を変化させた時の縦揺モーメント出力

が考えられる。一般的に用いられている相似パラメータは、ジェット・エンジンについては推力係数 $(C_j = T / q S)$ 、空気取入口試験では質量流量係数 $(C_m = U A / U S)$ 、ジェット・フラップについては運動量係数 $(C_\mu = j A U_j^2 / q S)$ などである。本試験システムでは、最も一般的に使われ、試験時に設定が容易な推力係数 C_j を相似パラメータとすることとした。

5.1 空気力学的相似パラメータ

本試験システムはエンジンを装備した模型の風洞試験を想定して設計された。3.4 節で述べたように、適用したエンジンは高圧空気でタービンを駆動し、軸流ファンによって前方から空気を吸込んで、ノズルから排気して推力を得る方式のものである。実エンジンと大きく異なる点は以下のことがらである。

本エンジンには燃焼器がないので、実エンジンに比べ排気コアジェットの温度が低い。本エンジンのコアジェットは高圧空気がタービンを駆動し、断熱膨張したものであるため、常温より低く、タービンの回転数によっては氷点下となる。

本エンジンのノズル出口流量は、ファン流と外部から導入されたタービン駆動用高圧空気のコア流の和となるが、実エンジンの場合のノズル出口流量は空気取入口から流入した流量と一致する。なお、本エンジンの場合、コア流とファン流の間には一定の関係(吸込み流量 < 出口流量)が存在するので、ファンの吸込み流量係数を実機のそれと合わせても、出口流量係数は一致しない。

風洞試験を行う際には、試験で測定しようとしているものが何であり、それがどのような空力現象によっているかを考えて、その現象に最も影響の大きいパラメータに合わせて試験を行うことが重要である。

本試験システムは、USB方式のSTOL機模型の6分力試験に利用するために作られたものである。USB方式STOL機の空力特性に大きな影響を与えるものは、コアンダ効果とジェットの誘導効果である。これらの効果は、エンジン前方の空気取入口付近の流れよりも、エンジン後方の排気ジェットによる影響が強いと考えられる。コアンダ効果やジェットの誘導効果は粘性と乱流混合に依存しているため、空気力学的相似パラメータとしてはジェットと一般流の温度比、速度比、密度比が基本相似パラメータとなる。しかしながら、温度の影響はジェット流とその周辺の狭い部分に限られ、USB方式の高揚力発生メカニズムである超循環(Super Circulation)やジェット流の偏向のような効果には、むしろ速度比や密度比の影響の方が大きい。

速度比や密度比のような基本パラメータを風洞試験で合

わせるのは困難であるので、それらを組み合わせた派生パラメータの流量係数、運動量係数(推力係数)で合わせる方が直接計測が可能であるということから便利である。このうち流量係数については、エンジン駆動用高圧空気を計測しても、出口流量とは異なり、空気取入口流量も計測しなければならぬことにもなり不便である。

以上の理由から、一般に高圧空気を使用したタービン式のエンジンを用いた6分力計測風洞試験では、空気力学的相似パラメータとして、力計測が容易な推力係数 C_j が用いられる。模型にはエンジンと吹出式BLCシステムが装備されているので、風洞試験の空気力学的相似パラメータとして推力係数 C_j を採用し、それぞれ実機の値と合わせるようにして風洞試験を実施した。

5.2 エンジンの推力調整

風洞試験では、エンジンの推力係数をパラメータとして変化させ、6分力を計測することとなるが、エンジンにロードセルが付けられ、直接エンジン推力が計測できれば、その値を見ながらエンジン推力を調整することができるが、模型には、エンジン推力測定用ロードセルが付けられていないので、あらかじめエンジン回転数とエンジン推力の関係を求めておき、エンジン駆動用空気流量を配管系の制御弁で調整し、指定されたエンジン回転数になるようにするという間接的な推力調整法が用いられた。

エンジン推力の調整は以下のように行われた。

6分力天秤に取付けられたエンジン付模型のフラップやポルテックス・ジェネレータを取り外し、できるだけナセル単体の力計測ができるようにする。

風洞を起動しないで、空気配管系の圧力制御バルブを開き、配管干渉除去装置を活かし、一定のエンジン回転数になるようエンジン制御バルブを調整する。

エンジン回転数と6分力天秤の計測値を記録する。

配管の供給元圧を変化させ、の作業を繰り返す。

の結果から、エンジン回転数とエンジン推力の関係を求める。

ジェットの噴出方向は、機体軸XZ面と平行であるので、推力は6分力計測値のうち揚力L、抗力Dのベクトル和として求める。

$$T = \sqrt{L^2 + D^2}$$

供給元圧にかかわらず、エンジン推力はエンジン回転数だけの関数として表すことができるので、これらのデータを4次式で近似し、係数を最小自乗法で求める。風洞試験の時には、このようにして求めた4次式を解いて推力を求め、風洞動圧と主翼面積から推力係数 C_j を求める。

$$C_j = T / q_\infty S$$

エンジン回転数の制御は、圧力配管系の圧力制御バルブによる供給圧制御と模型内のエンジン制御バルブによるエンジン回転数の制御からなるが、詳細は 3.5 節で述べられている。図 5.2-1 はエンジン回転数とエンジン推力との関係を示したもので、実線(4次式近似)に良くのっていることがわかる。

5.3 BLC 推力の調整

BLCシステムの場合、空気力学的相似パラメータとして一般に使用されるのは、運動量係数 C_μ であるが、単位時間内の運動量の変化が推力であること、また運動量を直接測定することが困難であるという理由から、本試験システムでは BLC 推力係数を相似パラメータとして選択した。模型には、主翼外舷前縁部と補助翼上流の主翼部に吹出式の境界層制御装置が取付けられ、それぞれ前縁 BLC とエルロン BLC と呼ばれている。

BLC 推力の調整は、前縁 BLC、エルロン BLC それぞれについて、次のように行われた。

6 分力天秤に取付けられた模型の前縁スラット、エルロン等 BLC 吹出 ジェットに影響を与えるものを取外

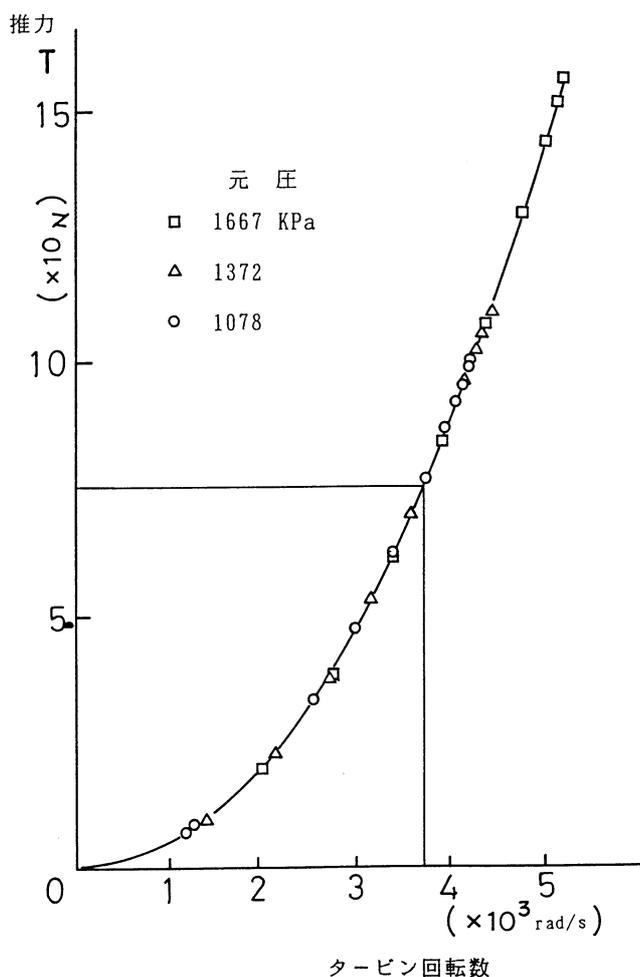


図 5.2-1 エンジンの推力

す。

風洞を起動しないで、主翼内 BLC チャンバーの圧力が一定になるよう、模型胴体内チャンバーの BLC バルブを調整する。

BLC チャンバーの圧力と 6 分力天秤の計測値を記録する。

BLC バルブを調整して、 の作業を繰り返す。

BLC の空気吹出方向は機体軸の X Z 面と平行になっていないので、BLC 推力は 6 分力計測のうち揚力、抗力、横力のベクトル和として求める。

$$T = \sqrt{L^2 + D^2 + S^2}$$

BLC 推力と BLC チャンバー圧との間には一定の関数関係があるので、風洞試験の時には、BLC 推力に対応した BLC チャンバー圧の設定値になるように、BLC 調整バルブを遠隔で操作する。そして BLC 推力と BLC チャンバー圧の関係から、BLC 推力を求め BLC 推力係数 C_{jBLC} を求めた。

5.3.1 前縁 BLC

前縁 BLC のチャンバー圧と前縁 BLC 推力の間には図 5.3-1 に示すような関係があるので、1 次式で近似して係数を最小自乗法で求める。風洞試験では、先に求めた 1 次

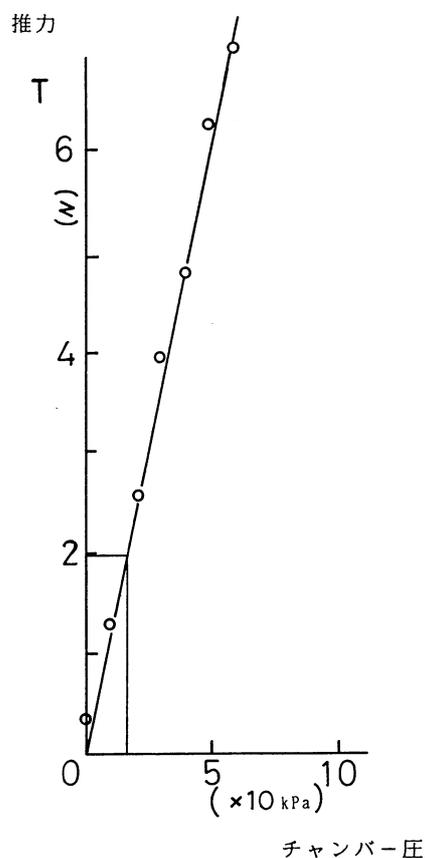


図 5.3-1 前縁 BLC 推力

式を解いて B L C 推力を求め、風洞動圧と主翼面積から前縁 B L C 推力係数 C_{jLe} を求める。

$$C_{jLe} = T_{LE}/q_{\infty}S$$

5.3.2 エルロン B L C

エルロン B L C のチャンパー圧とエルロン B L C 推力の間には図 5.3-2 に示すような関係があるので、4 次式で近似して係数を最小自乗法で求める。風洞試験では、この 4 次式を解いて B L C 推力を求め、風洞動圧と主翼面積からエルロン B L C 推力係数 C_{jAi} を求める。

$$C_{jAi} = T_{Ai}/q_{\infty}S$$

6 . 結 論

高圧ゴムホース方式の配管干渉除去装置に代わるものとして開発した非接触型の空気軸受継手方式の配管干渉除去装置の干渉除去性能は、供給圧変化(0.6 ~ 1.8 MPa)および荷重に対しての継手の干渉力が天秤単体の誤差範囲内であり、揚力成分のみ設定給気圧に対して零点補正すれば、同一係数値での線形処理が可能であることがわかった。また、開発した空気軸受継手の漏洩流量は、エンジン使用流量の 5 % 前後でそれほど多くなかった。第 1 節の " はじめに " の欄で述べた ~ の要求仕様はほぼ達成できた。また、本装置を用いた S T O L 全機風試の結果については、一部の比較のみであるが、文献 1 に掲げられた高圧ゴムホース方式による問題点に対して解決できた。しかし、良い面だけでなく下記のようにいくつかの改善すべき問題点があり、その対策が必要であることもわかった。

既設の天秤を改良せずに、ターン・テーブル内の空間部を利用して装置を組み込んだため、準備作業に労力のかかるシステムになった。

その対策として、天秤と一体化して構成部を簡素化し、取り扱いを容易にする必要がある。

前記 項における限定されたスペースに装置を組み込んだために、ベローズ継手のベローズ段数が少なく、曲げ剛性が思ったより大きくなり、供給圧 0.6 MPa 以下の自由度が犠牲になった。なお、空気軸受継手本体単体における機能は、第 4.1 節で述べたように、供給圧 0.2 MPa から確認済みである。

その対策として、ベローズの段数を増やし、曲げ剛性を小さくして、低い供給圧(0.2 MPa)でも機能するようになる必要がある。

実験初期において、ミクロン・エア・フィルタの設置を怠ったところ、精密加工の空気軸受継手本体が 15 時間程で機能しなくなった。

その対策として、1 μ m 以上のスラッジ等を除去できるミクロン・エア・フィルタを常設する必要がある。

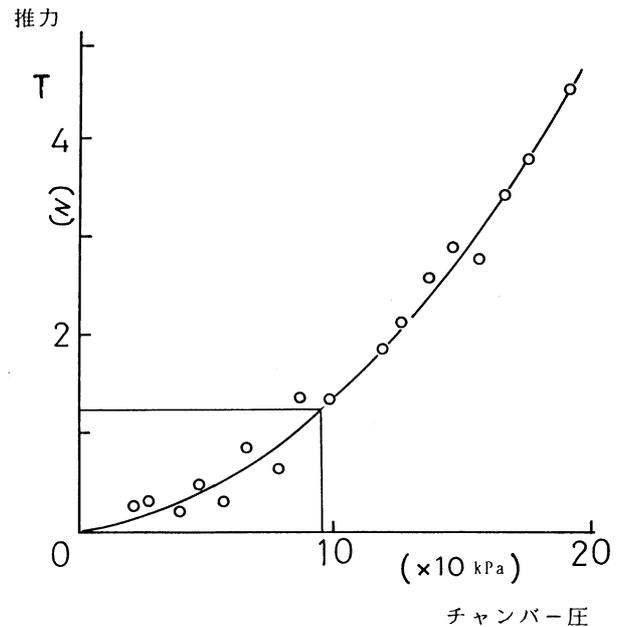


図 5.3-2 エルロン B L C 推力

空気軸受継手本体の内側偏心浮軸と外側偏心浮軸部分の素材が総ステンレスのために初動慣性が大きく、応答性が悪い。しかも、天秤の固有振動に近く、お互いにダンピング特性が近接するために、模型姿勢角設定において連成動作を起こし、揺れが収まり、計測できるまでの時間が必要であった。(角設定で 5 秒、 角設定で 10 秒)

その対策として、可動部にセラミックス等の素材を使用して重量軽減(重量比で約 1 / 3)を図り、天秤の固有振動域から遠避け、連成動作を起こさないようにする必要がある。

本試験システムのエンジン潤滑油の供給に関し、ポンプアップによる供給潤滑油およびエンジン機能によって軸受部からあふれたエンジン潤滑油は、ドレン管から一部はパイプを介して風洞外へ排出されるようになっているが、ほとんど、エンジン軸受で使われた潤滑油は、エンジン排気ノズルから気流中に飛散したり、翼面上を流れて測定部の床および風洞内を汚している。その対策として、軸受の油溜りに余分に溜まらないように給油をエンジン回転数に合わせた自動給油システムを考える必要がある。

謝 辞

本試験システムのエンジン回転数制御装置と制御用ソフトウェアは、S T O L プロジェクトのメンバー外の鈴木誠三技官(新型航空機研究グループ)により開発されたものを、さらにメンバーである室田勝一技官が改善してハードウェアとソフトウェアの整合性を高めたものである。特に鈴木誠三技官においては、上記に述べたようにエンジン制

御装置(ハードウェア・ソフトウェア)開発の中心メンバーとなって、多大な御助力を戴いた。

また、外立政隆氏(新型航空機研究グループ)には、天秤校正試験に多大な御助力を戴いた

本試験システムの設計・製作は川崎重工業(株)を主契約者として行われた。特に、川崎重工業(株)の内川五十六氏他、(株)不二越の伊庭剛二氏他をはじめとして、関連各社各位に貴重な御意見の御指導等を頂き、深謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 高橋 侅、中谷輝臣、野口正芳、野中 修、星野秀雄、井上 隆; STOL全機模型配管干渉除去装置効果試験、航空宇宙技術研究所報告書 TM-647 (1992.4)
- 2) 中谷輝臣、林良生; 特許名「偏心流体継手」特許番号 No.1416296 (1987.12.22)
- 3) 野中 修、中谷輝臣、林 良生、戸田亘洋; 偏心ジャーナル空気継手の試作、航空宇宙技術研究所報告書 TR-914 (1986.9)
- 4) 犬丸矩夫、高橋 侅、広末健一、戸田亘洋、桑野尚明; ファンジェットSTOL機の空気特性、航空宇宙技術研究所報告書 TR-790 (1983.)
- 5) 高橋 侅、中谷輝臣、林 良生、萱場重男、野口正芳、野中 修、外立正隆、星野秀雄、馬場滋夫、井上 隆; STOL全機模型パフェット対策風洞試験、航空宇宙技術研究所報告書 TR-1129 (1991. 11)
- 6) 戸田 洋; 大型低速風洞における動力付模型の風洞試験、航空宇宙技術研究所報告書 N-19 (1975.)
- 7) Bill H.; Valve control with a Microcomputer, Measurements and Control Systems, Oct. INSTRUMENTS & CONTROL SYSTEM (1978)
- 8) 多摩川精機(株)技術資料; エンジンバルブ・制御装置取り扱い説明書 (1989)
- 9) 川崎重工業(株)・ジェットエンジン事業部; ジェットエンジン・シミュレータ取り扱い説明書 (1987)
- 10) Reinhard S.; Control of Turbine Simulators for Low-Speed Wind tunnel (DNW) Tests, IEEE, ICASF' 83, (1983)
- 11) 伊庭剛二、中谷輝臣、岡本 修、鈴木誠三、荻本健二、原 外満、浜田 真; 大径コニカル型空気軸受の試作、精密工学会秋季大会講論集、749. (1986. 10)
- 12) 伊庭剛二、高橋 侅、中谷輝臣、内川五十六、平間公男、川上隆一; 高圧空気で動作する模擬エンジン用空気軸受継手の開発、精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (1988. 10)
- 13) 桑野尚明、星野秀雄、室田勝一; 大型低速風洞データ処理システムについてI、航空宇宙技術研究所報告書 TM-345(1978. 3)
- 14) 小池 陽、末永尚史、浅井圭介、三堀 進、細江信幸、鈴木弘一; 遷音速風洞におけるTPS特性試験、航空宇宙技術研究所報告書 TR-968 (1988.)

付録 A 配管干渉除去装置の取扱要領

1. 概要

本節では、本文 3.3(4)節の配管除去装置の組立手順とその要領について簡単に述べる。

配管干渉除去装置は、多くの要素構造物を狭いターン・テーブル内で天秤に併設して組み立てることになるために、作業の段取り、手順が重要である。そこで、組立作業順に図および写真を用いて説明する。

2. 既設品の取り外し手順

(1) 作業準備として、ターン・テーブル上面の床蓋を全部外す。

(2) 本装置取り付け時に障害となる風防追尾装置や床蓋取付用の短フレームを一時取り外す。

3. 組立手順

(1) 継手本体取付基盤の取付作業

基盤のペイントマークを上流側に合わせて、ターン・テーブルの前後桁上に置く。

継手本体上の取付座(ボルト通し穴)の上面に水準器を乗せて水平を確認する。水平面の調整は前後の桁に取り付けた各 3 本の調整ナットで行う。(ペイントマークを目標に合わせる)

(2) 継手本体の取付

継手本体の取付は、正面マークを上流側に合わせて取付基盤に指定のボルトで固定する。

ボルトの締付作業は、取付基盤側から行うと容易である。また、継手本体取付前に出力軸軸筒下部に設けてあるストッパーリングを一時取り外しておく必要がある。

(3) 支柱取付台の設置

支柱取付台(支柱取付基盤含む)を、既設のピラミッド型天秤の支柱取付ベースに設ける。取付方向は、支柱取付台に設けてある銘板を上流側にする。台の水平確認は、水準器(2台)を指定の場所に乘せて水平を確認、調整すること。

(4) 継手本体へのホースの取付

継手本体の下部に設けてある給気アダプターにホース・

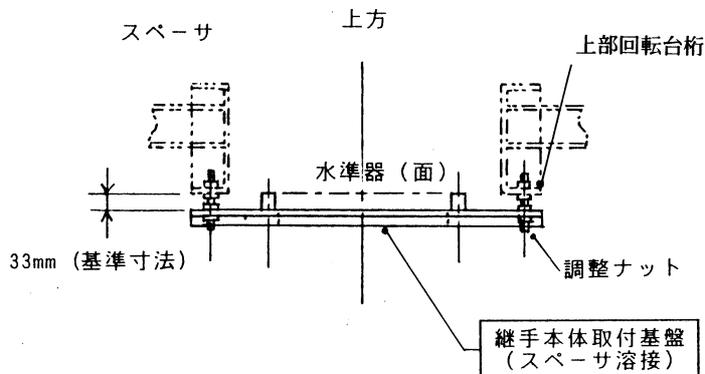


図 A-1 継手本体取付基盤の取付と基礎のレベル出し概要図



写真 A-1 継手本体取付基盤の取付作業

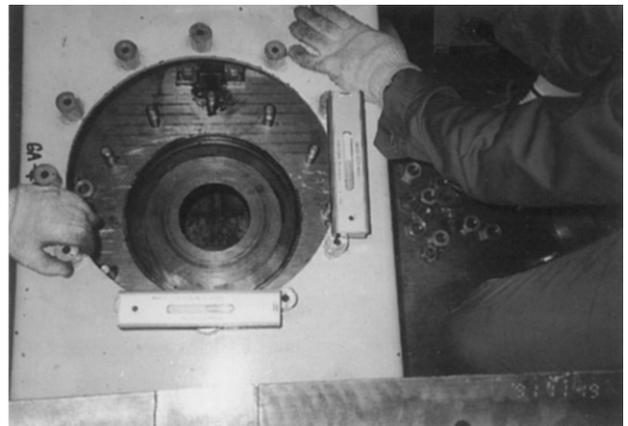


写真 A-2 継手本体取付基盤のレベル出し作業

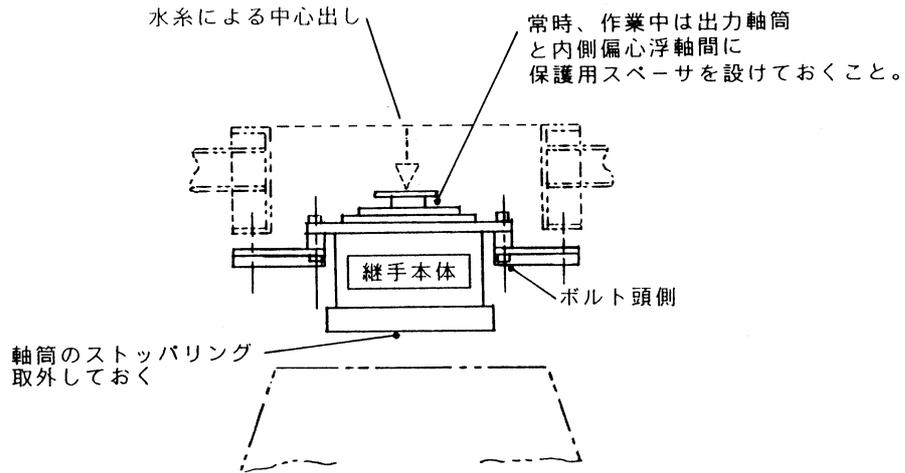


図 A-2 継手本体の取付概要図

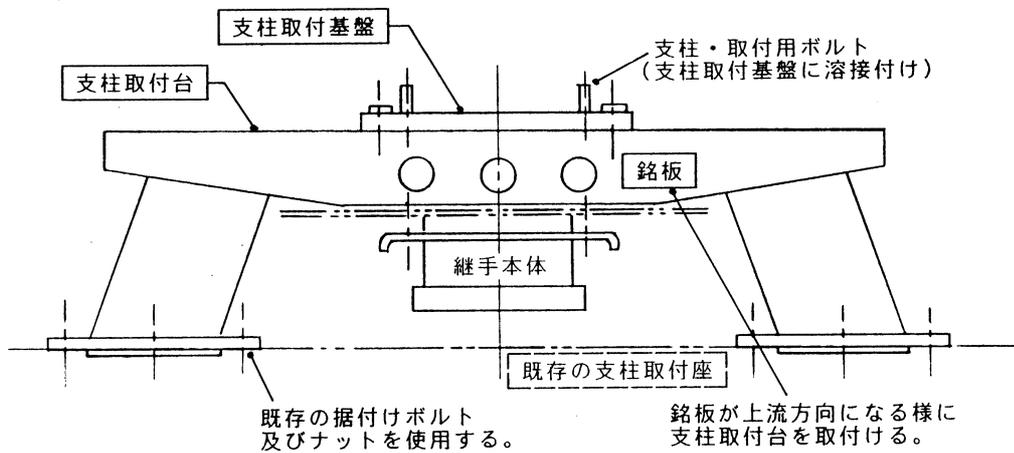


図 A-3 支柱取付台の設備概要図

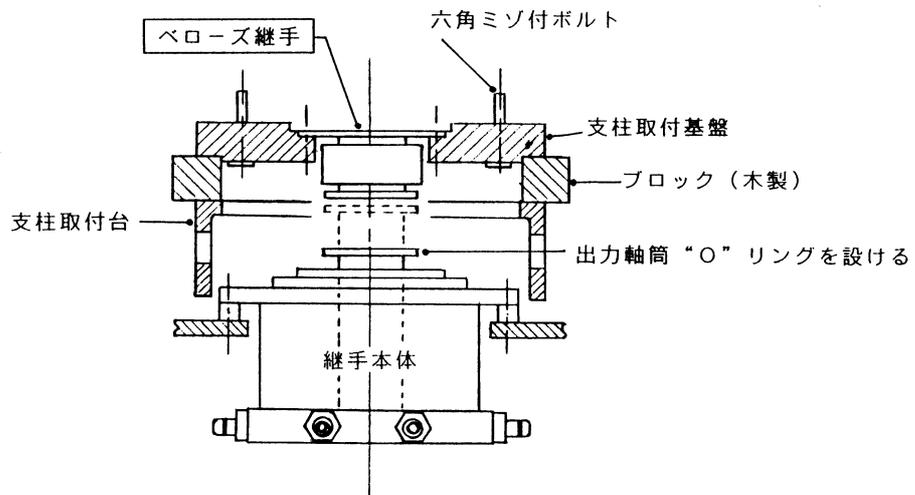


図 A-4 継手本体とベローズ継手の組立概要図

フィッティング(6個)を取り付けて高圧空気供給用ホースが結合できるようにする。

(5) 圧力容器の取付

左右一対の圧力容器(取付板とホース付き)をターン・テーブルの左右に設置する。

(6) 継手本体へのホース接続

圧力容器(左右)に取り付けてある各3本のホースを、給気アダプターに結合させる。なお、ホースの結合には組合

せの番号札が付いている。

(7) 芯出し作業

出力軸筒の中心と天秤中心との位置合わせ作業を行う。支柱取付基盤をクレーンで吊って、支柱取付台の指定位置に固定する。次に、支柱取付基盤に水糸を張って中心を出す。

また、出力軸筒に仮の盲蓋を施し、空気を供給(供給圧: 0.1MPa)して、出力軸筒の動きの自由度を確保する。次に、

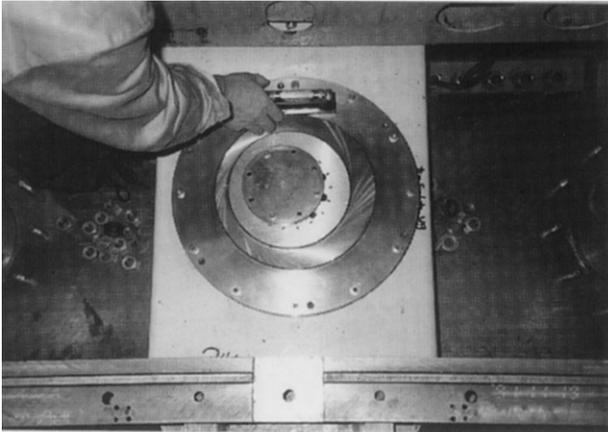


写真 A-3 継手本体取付後のレベル出し作業

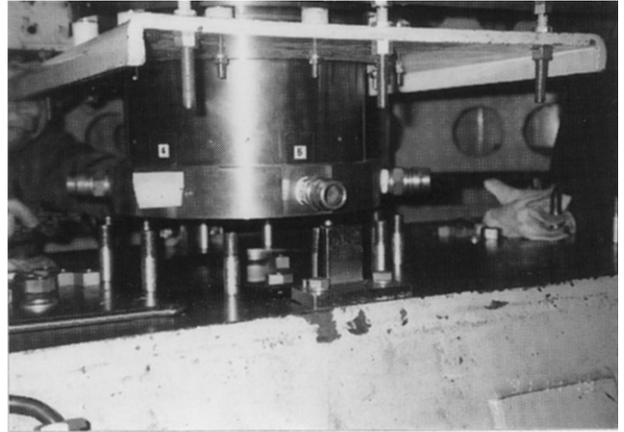


写真 A-6 ターンテーブル内の給気アダプター



写真 A-4 継手本体、出力軸筒のストッパーの取り外し



写真 A-7 圧力容器(ホース付き)の組立作業

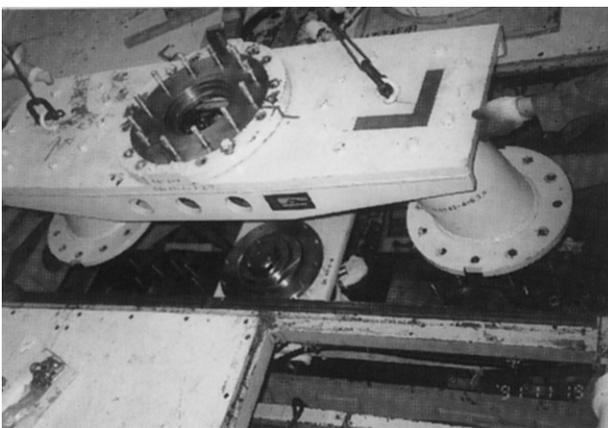


写真 A-5 支柱取付台の組立作業



写真 A-8 ターンテーブルと圧力容器の取付状況

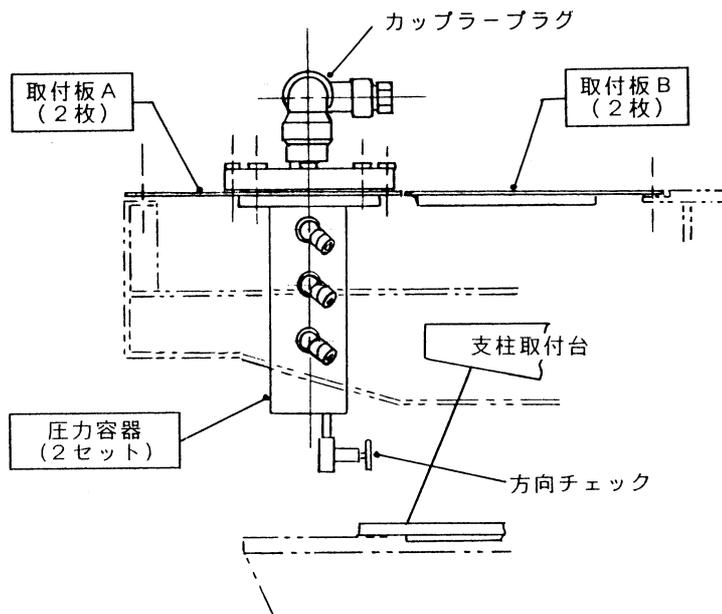


図 A-5 圧力容器の組立概要図

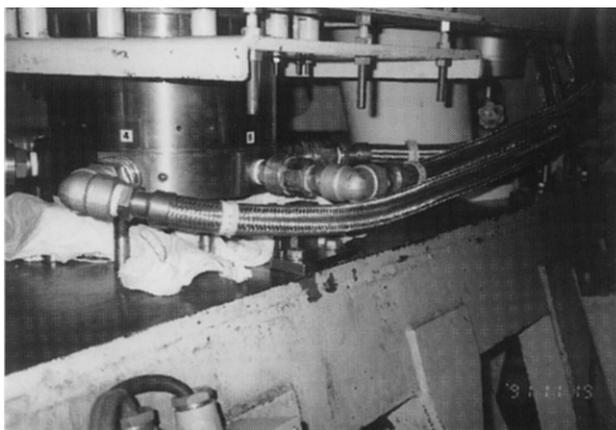


写真 A-9 ターンテーブル内の圧力配管取付状況

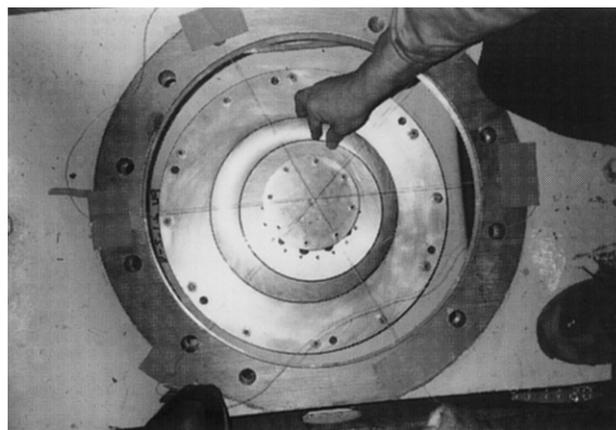


写真 A-11 出力軸筒の中心軸位置決め作業

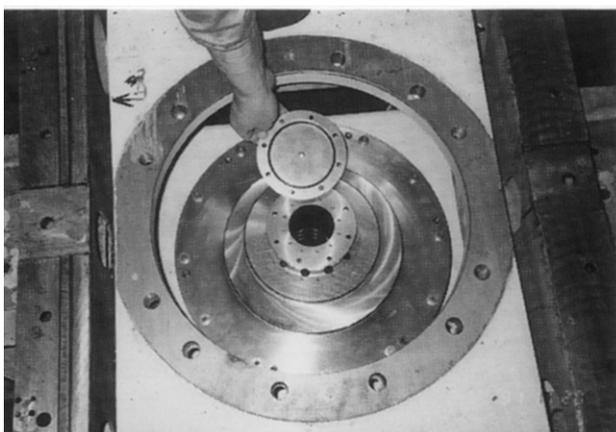


写真 A-10 出力軸筒の位置決め準備作業

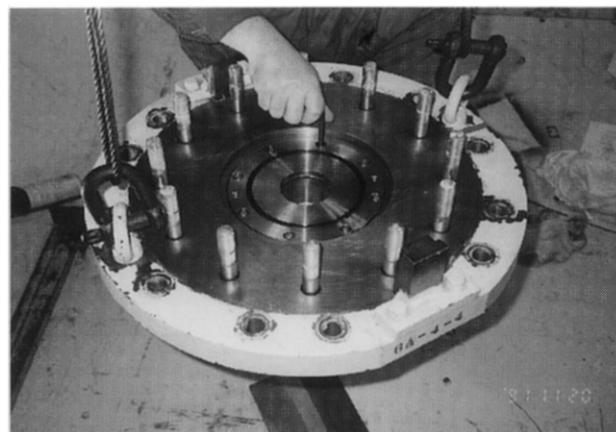


写真 A-12 ペローズ継手と支柱取付基盤の組立作業 (上側より)

出力軸筒の中心軸を水系の中心に合わせて空気を止める。

また、盲蓋を外して埃が内部に入らないように別蓋を設けておく。

(8) ペローズ継手の取付け

ペローズ継手を支柱取付基盤に取り付ける。フランジ部を上にして支柱取付基盤にボルトナットで固定する。

(9) ペローズ継手と出力軸筒の結合

ペローズ継手と出力軸筒の結合作業を行う。まず、支柱取付基盤(ペローズ継手と一体状態)を一旦クレーンで吊り上げ、支柱取付基盤と支柱取付台の間に、木製ブロック(指定のもの2個)を置いて、結合作業用の隙間を確保して、結合をボルト・ナットで行う。作業にあたっては出力軸筒が空気軸受継手本体から外れないように注意をすること。

なお、結合時には、必ずシール材(リング)を確認すること。

(10) 支柱取付基盤の固定

ペローズ継手と出力軸筒の結合後、再度、ペローズ継手に盲蓋をして圧力(0.1MPa)が供給できるようにする。圧力を供給して、空気軸受を機能させる。次に、クレーンで基盤を上げ、ブロックを外し、ゆっくりクレーンを下げて

支柱取付台にはめ込みボルトナットで固定する。この作業時には、出力軸筒も内側偏心浮軸内に入り込むため、十分な注意が必要である。結合時には、同様にOリングを確認すること。

(11) 風防追尾装置の取付

風防追尾装置をクレーンで吊って、支柱の上より差し込み、所定の位置に固定する。



写真 A-15 支柱取付基盤と支柱取付台の組立作業



写真 A-13 ペローズ継手と支柱取付基盤の組立作業
(下側より)

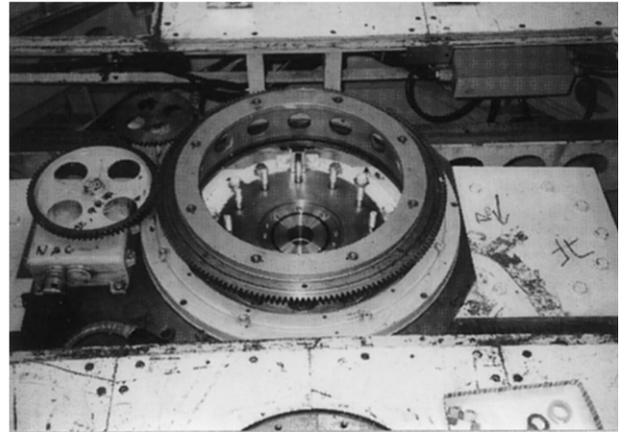


写真 A-16 風防追尾装置

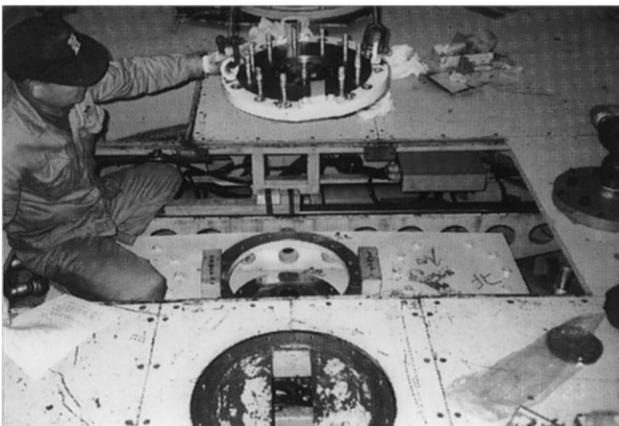


写真 A-14 支柱取付基盤と支柱取付台の組立作業準備

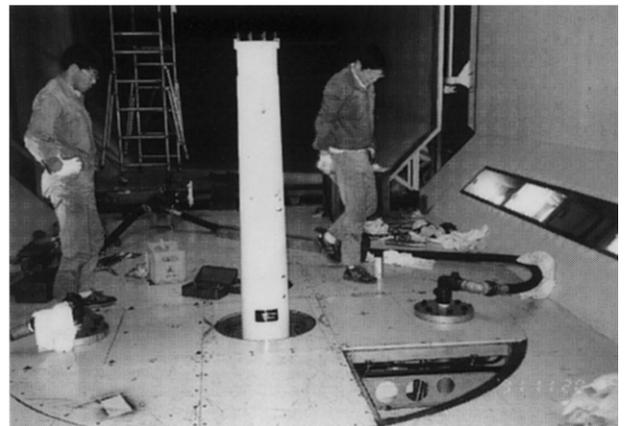


写真 A-17 支柱配管までの組立状況

(12) 支柱配管の取付

模型を支持する支柱配管を支柱取付基盤に取り付ける。支柱配管に設けた位置マーク()を上流側に向けて固定する。同様にOリングを確認すること。

(13) 最終組立

支柱配管に模型取付用の上部短支柱を取付ける。なお、支柱間には、5mm のスペーサーを挟み込む必要がある。

最後に、本装置の全体組立状態(風洞上流より)を図 A-7 に示す。

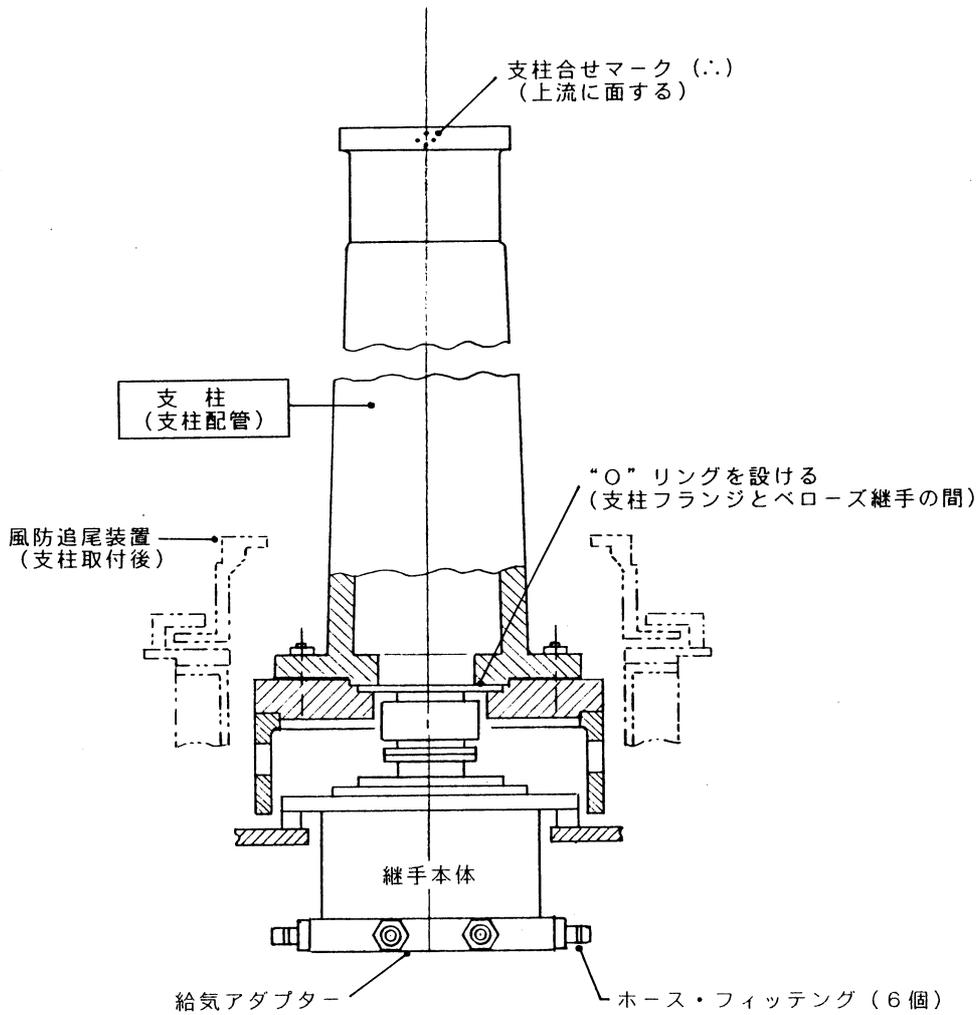


図 A-6 継手本体とペローズ継手および支柱の組立概要図

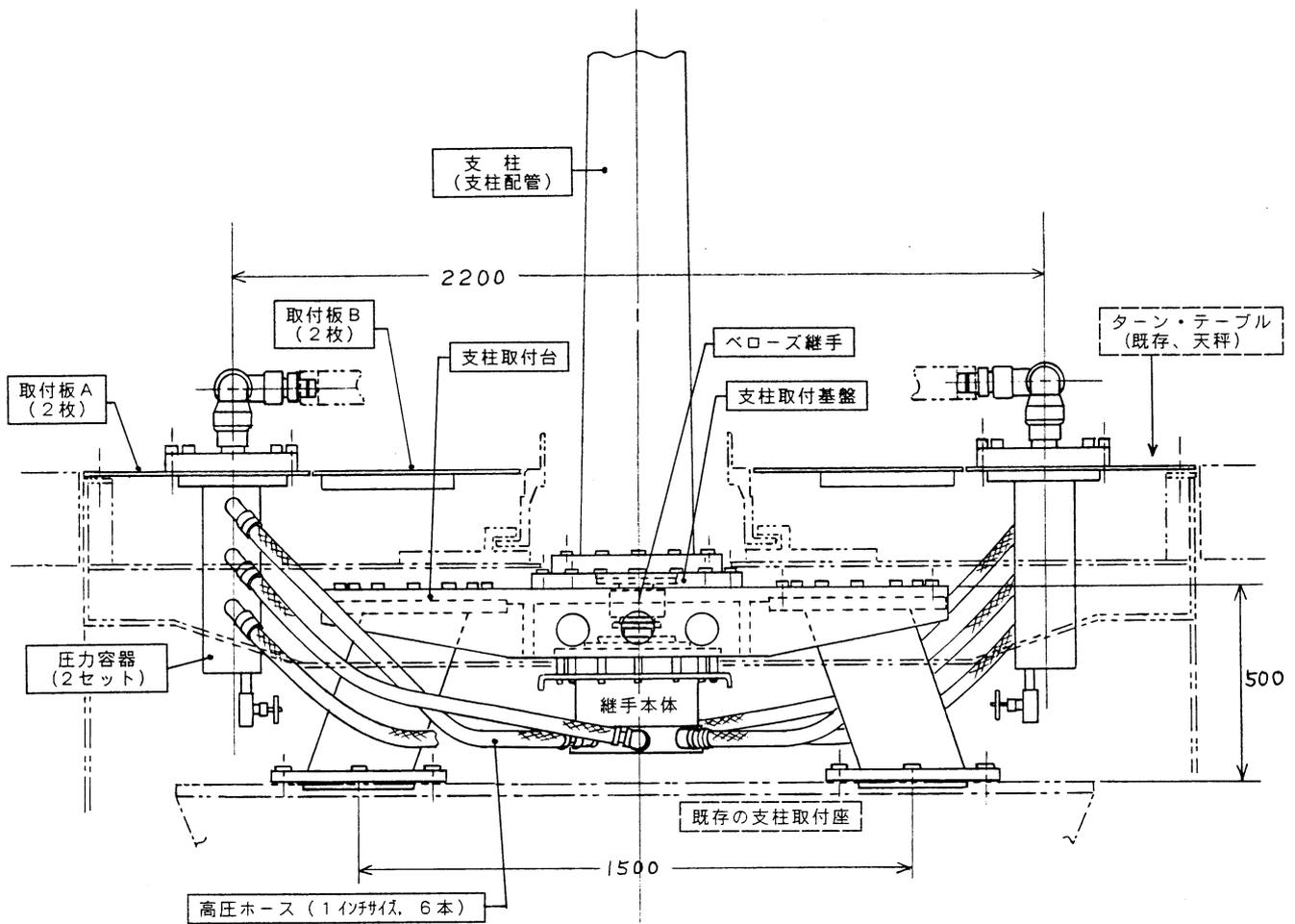


図 A-7 配管干渉除去装置の全体組立概要図
(ターンテーブル内)

付録B 制御系のソフトウェア
(エンジン・運転管理プログラムのソースリスト)

```

100 IF INITF%=0 THEN 60000 : 'intial routine
1000 '*****
1020 '*
1040 '* STOL L.W.T. TPS-RPM CONTROL PROGRAM
1060 '*
1080 '*
1100 '* FILE NAME TPS1.BAS
1120 '*
1140 '*****
1160 '
1180 CONSOLE ,,1,1 : CLS
1200 GOTO 1440
1220 STOP ON
1240 ON STOP GOSUB *STPNG
1260 *STPNG
1280 STOP OFF
1300 CLOSE
1320 CONSOLE ,,1,1 : BEEP : KEY OFF
1340 KEY OFF
1360 CLS : LOCATE 20,4
1380 IF EMRGFLG=1 THEN PRINT "TPS - 非常停止させました"
1400 LOCATE 20,6 : PRINT "TPS - 回転数設定 プログラムが停止しました"
1420 END
1440 '
1460 DIM SV%(4),SVLP(4),SVHP(4),MV%(4),POSER(4)
1480 DIM OFFSET%(4),PSGAIN(4),PSVL%(4),SVRPM%(4),PVRPM%(4),DI%(64),DID%(16)
1500 DIM SV05(4),SV10(4),SV185(4),RPM05%(4),RPM10%(4),RPM185%(4)
1520 DIM AA(4),BB(4),CC(4),DD(4),EE(4),FF(4),XVL(4)
1540 '
1560 '***** D/A OUTPUT -10000 mV *****
1580 STEG=1
1600 STARTFLG=0
1620 GOSUB *STOP4
1640 STARTFLG=1
1660 '
1680 LOCATE 5,2 :PRINT "エンジンコントローラの MODE SW. を MANUAL に セット"
1700 LOCATE 5,4 :PRINT "エンジンコントローラの POWER SW. を ON"
1720 LOCATE 5,6 :PRINT "MODE SW. を AUTO に セット"
1740 LOCATE 5,8 :PRINT "現在 ハルプ は 全閉 です"
1760 '
1780 LOCATE 5,10 :PRINT "圧力 PJ は OK ?"
1800 LOCATE 5,12 :PRINT "OK ならばSPACE KEY 押してください"
1820 AA$=INKEY$ : IF AA$<> " " THEN GOTO 1780
1840 CLS
1860 '
1880 '***** INITIAL SET *****
1900 CLS
1920 PSTEG=1 :STEG=1 : PCJ=0 :CCJ=0
1940 '
1960 EMRGFLG=0
1980 '
2000 '***** READ POT OFFSET *****
2020 GOSUB *POT
2040 FOR I=1 TO 4
2060 OFFSET%(I)=PSVL%(I)
2080 NEXT I
2100 '
2120 '
2140 '***** CONDITION SET UP *****
2160 '
2180 'D/A OUT PUT RATE
2200 PDE%=30 : ' [mV]
2220 PTIME=2 : ' DUMMY LOOP COUNT FOR D/A WAIT TIME SET UP

```

```
2240      EGTIME%=60
2260      WTIME%=EGTIME% : ' WAIT TIME FOR E/G WARM UP
2280      STEPTIME%=5
2290      WTCNT%=300
2300 '
2320 ' PDCR GAIN SET
2340      PIGAIN=.54 : ' 元圧 PDCR ゲイン
2360      PJGAIN=.0037336 : ' PJ PDCR GAIN
2380 ' E/G VALVE CONTROLLER GAIN
2400      PSGAIN(1)=1000! : ' [mV/mm]
2420      PSGAIN(2)=1000!
2440      PSGAIN(3)=1000!
2460      PSGAIN(4)=1000!
2480 '
2500 ' E/G WARM UP VALVE POSI DATA AT LOW PRESS
2520      SVLP(1)=1! : ' [mm]
2540      SVLP(2)=1!
2560      SVLP(3)=1!
2580      SVLP(4)=1!
2600 ' E/G WARM UP VALVE POSI DATA AT HIGH PRESS
2620      SVHP(1)=.81
2640      SVHP(2)=.82
2660      SVHP(3)=.83
2680      SVHP(4)=.84
2700 ' VALE POSI DATA AT CJ=0.05
2720      SV05(1)=1! : ' [mm]
2740      SV05(2)=.95
2760      SV05(3)=.75
2780      SV05(4)=.8
2800 ' VALVE POSI DATA AT CJ=0.18
2820      SV18(1)=1.9 : ' [mm]
2840      SV18(2)=2.05
2860      SV18(3)=1.8
2880      SV18(4)=1.95
2900 ' VALVE POSI DATA AT CJ=0.40
2920      SV40(1)=3.35 : ' [mm]
2940      SV40(2)=3.6
2960      SV40(3)=3.2
2980      SV40(4)=3.6
2982 ' VALVE POSI DATA AT CJ=0.70
2984      SV70(1)=3.7
2986      SV70(2)=4.2
2988      SV70(3)=3.75
2990      SV70(4)=4.5
3000 ' E/G RPM AT CJ=0.05
3020      RPM05%(1)=1320
3040      RPM05%(2)=1270
3060      RPM05%(3)=1280
3080      RPM05%(4)=1130
3100 ' E/G RPM AT CJ=0.18
3120      RPM18%(1)=2520!
3140      RPM18%(2)=2530!
3160      RPM18%(3)=2500!
3180      RPM18%(4)=2490!
3200 ' E/G RPM AT CJ=0.40
3220      RPM40%(1)=3650!
3240      RPM40%(2)=3650!
3260      RPM40%(3)=3650!
3280      RPM40%(4)=3680!
3282 ' E/G RPM AT CJ=0.70
3284      RPM70%(1)=4660
3286      RPM70%(2)=4680
3288      RPM70%(3)=4710
3290      RPM70%(4)=4680
3300 ' VALVE FACTOR [ VALVE POSI V.S. CJ ]
3320      AA(0)=.396095 : BB(0)=.396095 : CC(0)=.396095 : DD(0)=.396095
3340      AA(1)=2.64838 : BB(1)=2.64838 : CC(1)=2.64838 : DD(1)=2.64838
3360      AA(2)=-1.20459 : BB(2)=-1.20459 : CC(2)=-1.20459 : DD(2)=-1.20459
3380      AA(3)=.402222 : BB(3)=.402222 : CC(3)=.402222 : DD(3)=.402222
```

```

3400      AA(4)=0!      : BB(4)=0!      : CC(4)=0!      : DD(4)=0!
3420 '
3440 '***** KEY INTERRUPT ON *****
3460 '
3480      LOCATE 5,22 :PRINT"FUNCTION KEY 受け付け 可能"
3500 '
3520      FOR I=1 TO 10 : KEY (I) OFF : NEXT I
3540      FOR I=1 TO 10 : KEY (I) ON  : NEXT I
3560      ON KEY GOSUB *AEO,*OEI,*IEI, ,*STEPIN,*NSTOP, , , *EMRG
3580      GOTO 3580
3600 '
3620 '***** AEO MODE *****
3640 *AEO
3660      CLS : LOCATE 20,0 : PRINT "AEO AEO AEO AEO AEO モード' です"
3670      LOCATE 20,1 : INPUT " 回転数-整定待ち時間=";WTCNT%
3680      LOCATE 20,2 :INPUT "CJ をセットしてください  CJ=";CCJ
3700      IF CCJ=.05 OR CCJ=.18 OR CCJ=.4 OR CCJ=.7 THEN GOTO 3780
3720      IF CCJ=0 THEN GOTO 3480
3740      GOTO 3660
3760 '
3780      STEG=2
3800      SKPEG=0 :' ALL E/G RUN
3820 '
3840 ' DETECTE XFER MODE
3860      IF PSTEG=1 THEN TRNO=1 : ' STOP>AEO
3880      IF PSTEG=2 THEN TRNO=4 : ' AEO>AEO
3900      IF PSTEG=3 THEN TRNO=9 : ' OEI>AEO
3920      IF PSTEG=4 THEN TRNO=13 :' IEI>AEO
3940      PSTEG=2 :' SET PSTEG
3960 '
3980 ' WARM UP E/G SELECT
4000      IF TRNO=4 THEN GOTO *AEOAEO
4020      IF TRNO=9 THEN GOTO *OEIAEO
4040      IF TRNO=13 THEN GOTO *IEIAEO
4060 '
4080 ' 4-E/G WARM UP
4100      GOSUB *SET10000 :' REFER VALVE POSI DATA
4120      LOCATE 20,4 : PRINT "4発 エンジン 起動"
4140      GOSUB *VLC34
4160      LOCATE 20,6 : PRINT "4発 エンジン ならし運転"
4180      GOSUB *TIMER
4200      PCJ=0
4220 '
4240 *AEOAEO
4260      IF TRNO=4 THEN LOCATE 20,4
4280      IF TRNO=4 THEN PRINT "AEO モード' を維持 / CJ を設定"
4300 '
4320      GOSUB *SETCJ
4340      IF CCJ=PCJ THEN GOTO 4380
4360      GOSUB *VLC34
4380      GOSUB *RPMCTL
4400 '
4420 *OEIAEO
4440 ' #1 E/G WARM UP
4460      LOCATE 20,4 :PRINT "OEI からAEO に変更 / # 1 エンジン 起動"
4480      GOSUB *SET10000
4500      GOSUB *VLC1
4520      LOCATE 20,6 :PRINT "# 1 エンジン ならし運転"
4540      GOSUB *TIMER
4560      GOTO *OIEIAEO
4580 '
4600 *IEIAEO
4620 ' #2 E/G WARM UP
4640      LOCATE 20,4 :PRINT "IEI から AEO に変更 / # 2 エンジン起動"
4660      GOSUB *SET10000
4680      GOSUB *VLC2
4700      LOCATE 20,6 :PRINT "# 2 エンジン ならし運転"
4720      GOSUB *TIMER
4740 '

```

```

4760 *OIEIAEO
4780     GOSUB *SETCJ
4800     IF PCJ=CCJ THEN GOTO 4860
4820     GOSUB *VLC34
4840     GOSUB *RPMCTL
4860     IF TRNO=9 THEN GOSUB *VLC1
4880     IF TRNO=13 THEN GOSUB *VLC2
4900     GOSUB *RPMCTL
4920 '
4940 '
4960 RETURN
4980 '
5000 '***** OEI MODE *****
5020 *OEI
5040     CLS :LOCATE 20,0:PRINT "OEI OEI OEI OEI OEI モード"
5050     LOCATE 20,1 : INPUT " 回転数-整定待ち時間=";WTCNT%
5060     LOCATE 20,2 : INPUT "CJ をセットしてください   CJ=";CCJ
5080     IF CCJ=.05 OR CCJ=.18 OR CCJ=.4 OR CCJ=.7 THEN GOTO 5160
5100     IF CCJ=0 THEN GOTO 3480
5120     GOTO 5040
5140 '
5160     STEG=3 : ' OEI MODE FLAG SET
5180     SKPEG=1 : ' #1 E/G SKIP FLAG SET
5190     WTCNT%=WTCNT%+100
5200 '
5220 'DETECTE XFER MODE
5240     IF PSTEG=1 THEN TRNO=2 : ' STOP>OEI
5260     IF PSTEG=2 THEN TRNO=5 : ' AEO>OEI
5280     IF PSTEG=3 THEN TRNO=8 : ' OEI>OEI
5300     IF PSTEG=4 THEN TRNO=14 : ' IEI>OEI
5320     PSTEG=3 : ' SET PSTEG
5340 '
5360 ' WARM UP E/G SELECT
5380     IF TRNO=5 THEN GOTO *AEOOEI
5400     IF TRNO=8 THEN GOTO *OEIOEI
5420     IF TRNO=14 THEN GOTO *IEIOEI
5440 '
5460 ' #2,3,4 E/G WARM UP
5480     LOCATE 20,4 :PRINT "#2,3,4 エンジン 起動"
5500     GOSUB *SET10000
5520     GOSUB *VLC34
5540     LOCATE 20,6 :PRINT "#2,3,4 エンジン ならし運転"
5560     GOSUB *TIMER
5580 '
5600 *OEIOEI
5620     LOCATE 20,4 : IF TRNO=8 THEN PRINT "OEI モード を維持 / CJ を設定"
5640     GOSUB *SETCJ
5660     IF CCJ=PCJ THEN GOTO 5700
5680     GOSUB *VLC34
5700     GOSUB *RPMCTL
5720 '
5740 *AEOOEI
5760 ' #1 E/G WARM UP
5780     LOCATE 20,4 :PRINT "AEO から OEI 変更 / #1エンジン停止"
5800     LOCATE 20,6 :PRINT "# 1 エンジンを 10000 [RPM] にします"
5820     GOSUB *SET10000
5840     GOSUB *VLC1
5860     LOCATE 20,6 :PRINT "# 1 エンジン ならし運転"
5880     GOSUB *TIMER
5900 '
5920 ' #1 E/G STOP
5940     LOCATE 20,6 :PRINT "# 1 エンジン 停止します"
5960     GOSUB *STOP1
5980 '
6000     GOSUB *SETCJ
6020     IF PCJ=CCJ THEN GOSUB *RPMCTL
6040     GOSUB *VLC34
6060     GOSUB *RPMCTL
6080 '

```

```

6100 *IEIOEI
6120   LOCATE 20,4 :PRINT "IEI から OEI 変更 / #1エンジン停止 & #2エンジン起動"
6140 ' #1,2 E/G WARM UP
6160   LOCATE 20,6 :PRINT "# 1 エンジン 10000 [RPM] します"
6180     GOSUB *SET10000
6200     GOSUB *VLC1
6220   LOCATE 20,6 :PRINT "# 2 エンジン 起動"
6240     GOSUB *VLC2
6260   LOCATE 20,6 :PRINT "#1,2 エンジン ならし運転"
6280     GOSUB *TIMER
6300 '
6320   LOCATE 20,6 :PRINT "# 1 エンジン 停止します"
6340     GOSUB *STOP1
6360     GOSUB *SETCJ
6380   IF PCJ=CCJ THEN GOTO 6440
6400     GOSUB *VLC34
6420     GOSUB *RPMCTL
6440     GOSUB *VLC2
6460     GOSUB *RPMCTL
6480 RETURN
6500 '
6520 '***** IEI MODE *****
6540 *IEI
6560   CLS :LOCATE 20,0 :PRINT "IEI IEI IEI IEI IEI モード"
6580   LOCATE 20,1 : INPUT "回転数-整定待ち時間=";WTCNT%
6600   LOCATE 20,2 : INPUT "CJ をセットしてください CJ=";CCJ
6620   IF CCJ=.05 OR CCJ=.18 OR CCJ=.4 OR CCJ=.7 THEN GOTO 6700
6640   IF CCJ=0 THEN GOTO 3480
6660   GOTO 6560
6680 '
6700   STEG=4
6720   SKPEG=2 : ' #2 E/G SKIP
6730   WTCNT%=WTCNT%+100
6740 '
6760 ' DETECTE XFER MODE
6780   IF PSTEG=1 THEN TRNO=3 : ' STOP>IEI
6800   IF PSTEG=2 THEN TRNO=6 : ' AEO>IEI
6820   IF PSTEG=3 THEN TRNO=10 : ' OEI>IEI
6840   IF PSTEG=4 THEN TRNO=12 : ' IEI>IEI
6860 '
6880   PSTEG=4
6900 '
6920 ' WARM UP E/G SELECT
6940   IF TRNO=6 THEN GOTO *AEOIEI
6960   IF TRNO=10 THEN GOTO *OEIIEI
6980   IF TRNO=12 THEN GOTO *IEIIEI
7000 '
7020 ' #1,3,4 E/G WARM UP
7040   LOCATE 20,4 :PRINT "#1,3,4 エンジン起動"
7060     GOSUB *SET10000
7080     GOSUB *VLC34
7100   LOCATE 20,6 :PRINT "#1,3,4 エンジン ならし運転"
7120     GOSUB *TIMER
7140 '
7160 *IEIIEI
7180   LOCATE 20,4 : IF TRNO=12 THEN PRINT "IEI モード を維持 / CJ 設定"
7200     GOSUB *SETCJ
7220   IF CCJ=PCJ THEN GOTO 7260
7240     GOSUB *VLC34
7260     GOSUB *RPMCTL
7280 '
7300 *AEOIEI
7320 '
7340   LOCATE 20,4 :PRINT "AEO から IEI に 変更 / #2エンジン停止"
7360 ' #2 E/G WARM UP
7380   LOCATE 20,6 :PRINT "# 2 エンジン 10000 [RPM] にします"
7400     GOSUB *SET10000
7420     GOSUB *VLC2
7440   LOCATE 20,6 :PRINT "# 2 エンジン ならし 運転"

```

```

7460      GOSUB *TIMER
7480      LOCATE 20,6 :PRINT "# 2 エンジン 停止します"
7500      GOSUB *STOP2 : '#2 E/G STOP
7520 '
7540      GOSUB *SETCJ
7560      IF PCJ=CCJ THEN GOSUB *RPMCTL
7580      GOSUB *VLC34
7600      GOSUB *RPMCTL
7620 '
7640 *OEIIEI
7660 '
7680      LOCATE 20,4 :PRINT "OEI から IEI に 変更 / #1エンジン起動 & #2エンジン停止 "
7700 ' #1,2 E/G WARM UP
7720      GOSUB *SET10000
7740      LOCATE 20,6 :PRINT "# 1 エンジン  起動"
7760      GOSUB *VLC1
7780      LOCATE 20,6 :PRINT "# 2 エンジン 10000 [RPM] にします"
7800      GOSUB *VLC2
7820      LOCATE 20,6 :PRINT "#1,2 エンジン ならし運転"
7840      GOSUB *TIMER
7860      LOCATE 20,6 :PRINT "# 2 エンジン 停止します"
7880      GOSUB *STOP2
7900 '
7920      GOSUB *SETCJ
7940      IF PCJ=CCJ THEN GOTO 8000
7960      GOSUB *VLC34
7980      GOSUB *RPMCTL
8000      GOSUB *VLC2
8020      GOSUB *RPMCTL
8040 '
8060      RETURN
8080 '
8100 '***** STEP INPUT MODE *****
8120 *STEPIN
8140 '
8160 ' AEO MODE IS SET UP ?
8180      CLS : LOCATE 20,0 :PRINT " STEP STEP STEP STEP STEP モード です"
8200      IF STEG=2 THEN GOTO 8280
8220      LOCATE 20,2 :PRINT "エンジン 運転モード が AEO でないので AEO 運転に"
8240      LOCATE 20,3 :PRINT "切り替えてから STEP モード を実行してください"
8260      GOTO 3480
8280      STEG=2
8300 '
8320 ' START POINT CJ & STEP INPUT LEVEL SET
8340      LOCATE 20,2 : INPUT " スタート点のCJ=",STARTCJ
8360      LOCATE 20,4 : INPUT " エンド点のCJ=",ENDCJ
8380      UPDWON=0 : IF ENDCJ < STARTCJ THEN UPDWON=1
8400      LOCATE 20,6 : PRINT " 入力 OK ですか ? (Y/N) "
8420      A$=INKEY$
8440      IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
8460      IF A$="Y" THEN GOTO 8560
8480      IF A$="N" THEN GOTO 8340
8500      GOTO 8420
8520 '
8540 ' SET VALVE AT START POINT CJ
8560      LOCATE 20,8 :PRINT "スタート ポイント にCJをセットしてよろしいですか?"
8580      LOCATE 20,10 :PRINT "OK ならばスペース キーを押してください"
8600      A$=INKEY$ : IF A$ = " " THEN GOTO 8680
8620      IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
8640      GOTO 8560
8660 '
8680      CLS : TCJ=STARTCJ
8700      GOSUB *XVPL
8720      GOSUB *VLC34
8740 '
8760      LOCATE 20,15 : PRINT "スタート ポイントにCJ をセットしました  START--CJ=",STARTCJ
8780      PCJ=TCJ : CCJ=STARTCJ
8800 '
8820 ' SET END CJ

```

```

8840     LSTEP=ENDCJ-STARTCJ
8860     TCJ=ENDCJ
8880         GOSUB *XVPL
8900     LOCATE 20,17 : PRINT "END--CJ=",ENDCJ
8920     LOCATE 20,18 : PRINT "STEP-LEVEL = ",LSTEP
8940 '
8960 LOCATE 20,20 :PRINT "測定開始はスペースキーを押してください"
8980     A$=INKEY$: IF A$=" " THEN GOTO 9060
9000     IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
9020         GOTO 8960
9040 '
9060 CLS : LOCATE 20,10 : IF UPDWON=0 THEN PRINT "増加 増加 増加 ステップ "
9080 IF UPDWON=1 THEN PRINT "減少 減少 減少 ステップ "
9100 '
9120 ' STEP SIGNAL OUT
9140     CH%=1 : CHNO%=4
9160         CALL DAMV.V(CH%,CHNO%,SV%(1))
9180 '
9200     WTIME%=STEPTIME%
9220         GOSUB *TIMER
9240     WTIME%=EGTIME%
9260     CLS : LOCATE 20,2 :PRINT " ステップ 入力--終了"
9280     LOCATE 10,10 :PRINT "STEP モード 終了ならば,リターンキーを押して,ファンクションキーでモード 変更"
9300     LOCATE 10,13 :PRINT "STEP モード 続行ならばスペース キーを押してください"
9320     A$=INKEY$: IF A$ = " " THEN GOTO *STEPIN
9340     IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
9360     GOTO 9280
9380 RETURN
9400 '
9420 '***** NORMAL E/G STOP *****
9440 '
9460 *NSTOP
9480     IF STEG=1 THEN CLS
9500 '
9520     IF STEG=1 THEN GOTO 9760
9540 ' E/G WARM UP
9560     IF STEG=2 THEN TRNO=7
9580     IF STEG=3 THEN TRNO=11
9600     IF STEG=4 THEN TRNO=15
9620     STEG=1
9640     CLS : LOCATE 20,2 :PRINT "正常 停止 のため ならし運転"
9660         GOSUB *SET10000
9680         GOSUB *VLC34
9700     LOCATE 20,6 : PRINT "エンジン ならし運転"
9720         GOSUB *TIMER
9740 '
9760 ' ALL E/G STOP
9780     CLS
9800     LOCATE 20,6 :PRINT "全 エンジンを 停止 "
9820         GOSUB *STOP4
9840     LOCATE 20,18 : PRINT "エンジン 運転を終了しますか ? (Y/N)"
9860     A$=INKEY$: IF A$ = "N" THEN GOTO 1880
9880     IF A$ <> "Y" THEN GOTO 9840
9900 '
9920         GOTO *STPNG
9940 RETURN
9960 '
9980 '***** EMRG E/G STOP *****
10000 '
10020 *EMRG
10040     EMRGFLG=1
10060     GOSUB *STOP4
10080     CLS : LOCATE 20,2 :PRINT "エンジン 非常 停止"
10100     GOTO *STPNG
10120 '
10140 RETURN
10160 '
10180 '----- REFER VALVE POSI DATA FOR E/G WARM UP -----
10200 *SET10000

```

```

10220      TSW%=0 : INTA=0 : CO%=2 : CH%=5 : APJ%=0 : STA%=0
10240      CALL ADTSV.V(TSW%,INTA%,CO%,CH%,APJ%,STA%)
10260      PJ=PJGAIN*APJ%
10280      LOCATE 50,21 : PRINT "PJ=",PJ
10300      I=0
10320      I=I+1
10340      SV10000=SVLP(I)
10360      IF PJ>16! THEN SV10000=SVHP(I)
10380      SV%(I)=PSGAIN(I)*SV10000+OFFSET%(I)
10400      IF I < 4 THEN GOTO 10320
10420      IF TRNO=2 OR TRNO=11 THEN SV%(1)=OFFSET%(1)
10440      IF TRNO=3 OR TRNO=15 THEN SV%(2)=OFFSET%(2)
10460      RETURN
10480      '
10500      '----- REFER VALVE POSI FOR SET CJ
10520      *SETCJ
10540      I=0
10560      I=I+1
10580      IF CCJ=.05 THEN SVSV=SV05(I)
10600      IF CCJ=.18 THEN SVSV=SV18(I)
10620      IF CCJ=.4 THEN SVSV=SV40(I)
10630      IF CCJ=.7 THEN SVSV=SV70(I)
10640      SV%(I)=PSGAIN(I)*SVSV+OFFSET%(I)
10660      '
10680      IF CCJ=.05 THEN SVRPM%(I)=RPM05%(I)
10700      IF CCJ=.18 THEN SVRPM%(I)=RPM18%(I)
10720      IF CCJ=.4 THEN SVRPM%(I)=RPM40%(I)
10730      IF CCJ=.7 THEN SVRPM%(I)=RPM70%(I)
10740      IF I < 4 THEN GOTO 10560
10760      IF TRNO=2 OR TRNO=5 THEN SV%(1)=OFFSET%(1)
10780      IF TRNO=8 OR TRNO=14 THEN SV%(1)=OFFSET%(1)
10800      IF TRNO=3 OR TRNO=6 THEN SV%(2)=OFFSET%(2)
10820      IF TRNO=10 OR TRNO=12 THEN SV%(2)=OFFSET%(2)
10840      RETURN
10860      '
10880      '----- CONTROL E/G RPM -----
10900      *RPMCTL
10920      PCJ=CCJ
10940      SS%=0
10960      RPMDA%=2
10980      '
11000      CLS : LOCATE 20,0 : IF STEG=2 THEN PRINT "AEO AEO AEO AEO AEO モード"
11020      IF STEG=3 THEN PRINT "OEI OEI OEI OEI OEI モード"
11040      IF STEG=4 THEN PRINT "IEI IEI IEI IEI IEI モード"
11060      LOCATE 20,2 : PRINT "CJ=",CCJ
11080      LOCATE 20,6 : PRINT "エンジン 整定後, 回転数の精密設定に入ります"
11082      LOCATE 20,8 : PRINT "圧力が OK ならば SPACE KEY を押してください"
11084      AA$=INKEY$: IF AA$ <> " " THEN GOTO 11082
11086      LOCATE 20,8 : PRINT "
11100      WTIME%=10
11120      '
11120      GOSUB *TIMER
11140      '
11140      WTIME%=EGTIME%
11160      FOR XX=1 TO 4 : MV%(XX)=SV%(XX) : NEXT XX
11180      IF SKPEG=1 THEN MV%(1)=-10000
11200      IF SKPEG=2 THEN MV%(2)=-10000
11220      LOCATE 20,6 : PRINT "回転数-制御中"
11240      I=0
11260      I=I+1
11280      LOCATE 21,8+I : PRINT I
11300      LOCATE 24,8+I : PRINT SVRPM%(I)
11320      IF I < 4 THEN GOTO 11260
11340      '
11360      YY=0
11380      YY=YY+1
11385      A$=INKEY$
11390      IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
11400      IF YY=SKPEG THEN GOTO *CUAGN
11420      COCH%=0 : CO%=0
11440      CH%=YY+YY-1 : CHNO%=2 : STA%=0

```

```

11460          CALL PIMBIT.V(COCH%,CO%,CH%,CHNO%,DI%(0),STA%)
11480          QQ=0
11500          FOR PP=0 TO 15 STEP 4
11520              QQ=QQ+1
11540              DID%(QQ)=15-(DI%(PP)+2*DI%(PP+1)+4*DI%(PP+2)+8*DI%(PP+3))
11560          NEXT PP
11580          A$=STR$(DID%(4))+STR$(DID%(3))+STR$(DID%(2))+STR$(DID%(1))
11600          PVRPM%(YY)=VAL(A$)
11605          A$=INKEY$
11610          IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
11620          ERRPM%=PVRPM%(YY)-SVRPM%(YY)
11640          IF ABS(ERRPM%)<25 THEN GOTO *CUAGN
11660          DR%=RPMDA% : IF PVRPM%(YY)>SVRPM%(YY) THEN DR%=-1*RPMDA%
11680          MV%(YY)=MV%(YY)+DR%
11700          CH%=YY
11720          CALL DASV.V(CH%,MV%(YY))
11740          RPMDA%=2 : IF ABS(ERRPM%) > 50 THEN RPMDA%=7
11760          LOCATE 30,8+YY : PRINT PVRPM%(YY)
11780          LOCATE 36,8+YY : PRINT ERRPM%
11840          SS%=SS%+1
11860          LOCATE 38,6 : PRINT SS%
11880          ICNT%=0
11900          FOR ICNT%=1 TO WTCNT%
11920              ICNT%=ICNT%+1
11940          NEXT ICNT%
11960          GOTO 11420
11980 *CUAGN
12000          IF YY < 4 THEN GOTO 11380
12020          '   SS%=SS%+0
12040          '   LOCATE 38,6 : PRINT SS%
12060          GOTO 11360
12080 RETURN
12100 '
12120 '----- #1 E/G VALVE CONTROL -----
12140 *VLC1
12160          GOSUB *POT : 'READ POT
12180          LOCATE 20,6 : PRINT "#1ハ`ルブ`制御中"
12200 '
12220          LOCATE 47,8 : PRINT "ハ`ルブ`位置[mm]"
12240          FOR KK=1 TO 4
12260              MV%(KK)=PSVL%(KK)
12280              VPOS%=PSVL%(KK)-OFFSET%(KK)
12300              LOCATE 50,8+KK : PRINT VPOS% : LOCATE 56,8+KK : PRINT PSVL%(KK)
12320              LOCATE 21,8+KK : PRINT KK
12340          NEXT KK
12360          LOCATE 24,9 : PRINT SV%(1)-OFFSET%(1)
12380 '
12400          POSER(1)=MV%(1)-SV%(1)
12420          A$=INKEY$
12440          IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
12460          IF ABS(POSER(1))<=PDE% THEN GOTO *BYEBYE
12480          DE%=PDE%+ABS(POSER(1))*0.005
12500          IF MV%(1)>SV%(1) THEN DE%=-1*(PDE%+ABS(POSER(1))*0.005)
12520          MV%(1)=MV%(1)+DE%
12540          CH%=1
12560          CALL DASV.V(CH%,MV%(1))
12580          LOCATE 30,9 : PRINT MV%(1)-OFFSET%(1)
12600          LOCATE 36,9 : PRINT POSER(1)
12620          ICNT%=0
12640          ICNT%=ICNT%+1
12660          IF ICNT% < 17 THEN GOTO 12640
12680          GOTO 12400
12700 *BYEBYE
12720          CH%=1
12740          CALL DASV.V(CH%,SV%(1))
12760 RETURN
12780 '
12800 '----- #2 E/G VALVE CONTROL -----
12820 *VLC2

```

```

12840 GOSUB *POT
12860 LOCATE 20,6 : PRINT "#2バルブ 制御中"
12880 '
12900 LOCATE 47,8 : PRINT "バルブ 位置[mm]"
12920 FOR KK=1 TO 4
12940     MV%(KK)=PSVL%(KK)
12960     VPOS%=PSVL%(KK)-OFFSET%(KK)
12980     LOCATE 50,8+KK : PRINT VPOS% : LOCATE 56,8+KK : PRINT PSVL%(KK)
13000     LOCATE 21,8+KK : PRINT KK
13020 NEXT KK
13040 LOCATE 24,10 : PRINT SV%(2)-OFFSET%(2)
13060 POSER(2)=MV%(2)-SV%(2)
13080     A$=INKEY$
13100     IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
13120 IF ABS(POSER(2))<=PDE% THEN GOTO *BYEBYE2
13140 DE%=PDE%+ABS(POSER(2))*0.0005
13160 IF MV%(2)>SV%(2) THEN DE%=-1*(PDE%+ABS(POSER(2))*0.0005)
13180 MV%(2)=MV%(2)+DE%
13200 CH%=2
13220     CALL DASV.V(CH%,MV%(2))
13240 LOCATE 30,10 : PRINT MV%(2)-OFFSET%(2)
13260 LOCATE 36,10 : PRINT POSER(2)
13280 ICNT%=0
13300 ICNT%=ICNT%+1
13320 IF ICNT% < 17 THEN GOTO 13300
13340     GOTO 13060
13360 *BYEBYE2
13380     CH%=2
13400     CALL DASV.V(CH%,SV%(2))
13420 RETURN
13440 '----- AEO,OEI,IEI,VALVE CONTROL -----
13460 *VLC34
13480 '
13500 LOCATE 20,6 : PRINT "バルブ 制御中"
13520 GOSUB *POT
13540 LOCATE 47,8 : PRINT "バルブ 位置[mm]"
13560 FOR KK=1 TO 4
13580     MV%(KK)=PSVL%(KK)
13600     VPOS%=PSVL%(KK)-OFFSET%(KK)
13620     LOCATE 21,8+KK : PRINT KK
13640     LOCATE 24,8+KK : PRINT SV%(KK)-OFFSET%(KK)
13660     LOCATE 50,8+KK : PRINT VPOS%
13680 NEXT KK
13700 '
13720 NN=0
13740 NN=NN+1
13760 IF NN=SKPEG THEN GOTO *AAAA1 : 'SKIP E/G
13780 POSER(NN)=MV%(NN)-SV%(NN)
13800     A$=INKEY$
13820     IF A$=CHR$(&HD) THEN GOTO 3480
13840 IF ABS(POSER(NN))<=PDE% GOTO *AAAA1
13860 DE%=PDE%+ABS(POSER(NN))*0.002
13880 IF MV%(NN)>SV%(NN) THEN DE%=-1*(PDE%+ABS(POSER(NN))*0.002)
13900 MV%(NN)=MV%(NN)+DE%
13920 CH%=NN
13940     CALL DASV.V(CH%,MV%(NN))
13960 *AAAA1
13980 LOCATE 30,8+NN : PRINT MV%(NN)-OFFSET%(NN)
14000 LOCATE 36,8+NN : PRINT POSER(NN)
14020 IF NN < 4 THEN GOTO 13740
14040 '
14060 IF SKPEG=1 THEN GOTO 14100
14080 IF ABS(POSER(1))>PDE% THEN GOTO 13700
14100 IF SKPEG=2 THEN GOTO 14140
14120 IF ABS(POSER(2))>PDE% THEN GOTO 13700
14140 IF ABS(POSER(3))>PDE% THEN GOTO 13700
14160 IF ABS(POSER(4))>PDE% THEN GOTO 13700
14180 CH%=1 : CHNO%=4
14200     CALL DAMV.V(CH%,CHNO%,SV%(1))

```

```

14220 RETURN
14240 '
14260 '----- TIMER SERVICE -----
14280 *TIMER
14300 ' WAIT TIME ***** WTIME%
14320 DEF FNST$(A$)=RIGHT$("0"+RIGHT$(A$,LEN(A$)-1),2)
14340 T$=TIME$
14360 H=VAL(LEFT$(T$,2)) : M=VAL(MID$(T$,4,2)) : S=VAL(RIGHT$(T$,2))
14380 S=S+WTIME% : M=M+0
14400 M=M+S¥60 : S=S MOD 60
14420 H=H+M¥60 : M=M MOD 60
14440 H$=STR$(H) : M$=STR$(M) : S$=STR$(S)
14460 H$=FNST$(H$) : M$=FNST$(M$) : S$=FNST$(S$)
14480 T1$=H$+" : "+M$+" : "+S$
14500 LOCATE 0,2 :PRINT TIME$ :LOCATE 0,0 :PRINT T$
14520 IF TIME$<>T1$ THEN GOTO 14500
14540 RETURN
14560 '
14580 '----- #1 E/G STOP -----
14600 *STOP1
14620 CH%=1 : MVT%=-9500
14640 CALL DASV.V(CH%,MVT%)
14660 ' WAIT
14680 FOR WW=1 TO 200 : NEXT WW
14700 MVT%=-10000
14720 CALL DASV.V(CH%,MVT%)
14740 LOCATE 20,16 :PRINT "# 1 エンジン 停止 OR WIND MILL 状態"
14760 RETURN
14780 '
14800 '----- #2 E/G STOP -----
14820 *STOP2
14840 CH%=2 : MVT%=-9500
14860 CALL DASV.V(CH%,MVT%)
14880 ' WAIT
14900 FOR WW=1 TO 200 : NEXT WW
14920 MVT%=-10000
14940 CALL DASV.V(CH%,MVT%)
14960 LOCATE 20,16 :PRINT "# 2 エンジン 停止 OR WIND MILL 状態"
14980 RETURN
15000 '
15020 '----- ALL E/G STOP -----
15040 *STOP4
15060 IF STARTFLG=0 OR EMRGFLG=1 THEN GOTO 15220
15080 FOR ZZ=1 TO 4
15100 MV%(ZZ)=-9500
15120 NEXT ZZ
15140 IF TRNO=11 THEN MV%(1)=-10000
15160 IF TRNO=15 THEN MV%(2)=-10000
15180 CH%=1 : CHNO%=4
15200 CALL DAMV.V(CH%,CHNO%,MV%(1))
15220 ' WAIT
15240 FOR WW=1 TO 200 : NEXT WW
15260 FOR ZZ=1 TO 4
15280 MV%(ZZ)=-10000
15300 NEXT ZZ
15320 CH%=1 : CHNO%=4
15340 CALL DAMV.V(CH%,CHNO%,MV%(1))
15360 IF STEG=1 THEN GOTO 15400
15380 CLS : LOCATE 20,6 : PRINT "全 エンジン 停止状態"
15400 RETURN
15420 '
15440 '----- CALCULATE VALVE POSI FOR RAMP SWEEP -----
15460 *XVPL
15480 XVL(1)=AA(0)+AA(1)*TCJ+AA(2)*TCJ^2+AA(3)*TCJ^3+AA(4)*TCJ^4
15500 XVL(2)=BB(0)+BB(1)*TCJ+BB(2)*TCJ^2+BB(3)*TCJ^3+BB(4)*TCJ^4
15520 XVL(3)=CC(0)+CC(1)*TCJ+CC(2)*TCJ^2+CC(3)*TCJ^3+CC(4)*TCJ^4
15540 XVL(4)=DD(0)+DD(1)*TCJ+DD(2)*TCJ^2+DD(3)*TCJ^3+DD(4)*TCJ^4
15560 '
15580 FOR I=1 TO 4

```

```

15600          SV%(I)=PSGAIN(I)*XVL(I)+OFFSET%(I)
15620          PRINT SV%(I)
15640          NEXT I
15660          '
15680          RETURN
15700          '
15720          '=====  
READ POT  
=====
15740          *POT
15760          LOCATE 50,22 : PRINT "READ VALVE POSI"
15780          '
15800          TSW%=0 : INTA%=0 : CO%=2
15820          CH%=1 : CHNO%=4 : STA%=0
15840          CALL ADTMV.V(TSW%,INTA%,CO%,CH%,CHNO%,PSVL%(1),STA%)
15860          '
15880          RETURN
15900          '
15920          END
60000          CLEAR,&H9BA1
60001          HANDL.SEG=&H9BA1
60002          DEF SEG=HANDL.SEG:BLOAD"HANDL"
60100          INITIAL =&H500
60101          SET.TIM =&H505 : '(V%)
60102          SETP.PIO =&H50A : '(Z%,X%,W%)
60103          SETP.PI =&H50F : '(Z%,Y%)
60104          PISB.M =&H514 : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
60105          PISB.V =&H519 : '(A%,B%,C%,I%,F%)
60106          PISB.MC =&H51E : '(A%,B%,C%,G%,D%,E%,F%)
60107          PISB.VC =&H523 : '(A%,B%,C%,G%,I%,F%)
60108          PISB.MD =&H528 : '(A%,B%,C%,H%,D%,E%,F%)
60109          PISB.VD =&H52D : '(A%,B%,C%,H%,I%,F%)
60110          PIMB.M =&H532 : '(A%,B%,C%,J%,D%,E%,F%)
60111          PIMB.V =&H537 : '(A%,B%,C%,J%,I%,F%)
60112          PISW.M =&H53C : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
60113          PISW.V =&H541 : '(A%,B%,C%,I%,F%)
60114          PISD.M =&H546 : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
60115          PISD.V =&H54B : '(A%,B%,C%,I%,F%)
60116          PISD.MC =&H550 : '(A%,B%,C%,G%,D%,E%,F%)
60117          PISD.VC =&H555 : '(A%,B%,C%,G%,I%,F%)
60118          PISD.MD =&H55A : '(A%,B%,C%,H%,D%,E%,F%)
60119          PISD.VD =&H55F : '(A%,B%,C%,H%,I%,F%)
60120          PISBIT.M =&H564 : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
60121          PISBIT.V =&H569 : '(A%,B%,C%,I%,F%)
60122          PIMBIT.M =&H56E : '(A%,B%,C%,J%,D%,E%,F%)
60123          PIMBIT.V =&H573 : '(A%,B%,C%,J%,I%,F%)
60124          IPISB.M =&H578 : '(K%,L%,C%,D%,E%,F%)
60125          IPISB.V =&H57D : '(K%,L%,C%,I%,F%)
60126          IPISB.MC =&H582 : '(K%,L%,C%,G%,D%,E%,F%)
60127          IPISB.VC =&H587 : '(K%,L%,C%,G%,I%,F%)
60128          IPISB.MD =&H58C : '(K%,L%,C%,H%,D%,E%,F%)
60129          IPISB.VD =&H591 : '(K%,L%,C%,H%,I%,F%)
60130          IPIMB.M =&H596 : '(K%,L%,C%,J%,D%,E%,F%)
60131          IPIMB.V =&H59B : '(K%,L%,C%,J%,I%,F%)
60132          IPISW.M =&H5A0 : '(K%,L%,C%,D%,E%,F%)
60133          IPISW.V =&H5A5 : '(K%,L%,C%,I%,F%)
60134          IPISD.M =&H5AA : '(K%,L%,C%,D%,E%,F%)
60135          IPISD.V =&H5AF : '(K%,L%,C%,I%,F%)
60136          IPISD.MC =&H5B4 : '(K%,L%,C%,G%,D%,E%,F%)
60137          IPISD.VC =&H5B9 : '(K%,L%,C%,G%,I%,F%)
60138          IPISD.MD =&H5BE : '(K%,L%,C%,H%,D%,E%,F%)
60139          IPISD.VD =&H5C3 : '(K%,L%,C%,H%,I%,F%)
60140          IPISBIT.M=&H5C8 : '(K%,L%,C%,D%,E%,F%)
60141          IPISBIT.V=&H5CD : '(K%,L%,C%,I%,F%)
60142          IPIMBIT.M=&H5D2 : '(K%,L%,C%,J%,D%,E%,F%)
60143          IPIMBIT.V=&H5D7 : '(K%,L%,C%,J%,I%,F%)
60601          SETP.DA =&H6D1 : '(Z%,Y%)
60602          DASH.M =&H6D6 : '(C%,D%,E)
60603          DASH.V =&H6DB : '(C%,I%)
60604          DAMH.M =&H6E0 : '(C%,J%,D%,E%)
60605          DAMH.V =&H6E5 : '(C%,J%,I%)

```

```

60606 DASV.M      =&H6EA  : '(C%,D%,E%)
60607 DASV.V      =&H6EF  : '(C%,I%)
60608 DAMV.M      =&H6F4  : '(C%,J%,D%,E%)
60609 DAMV.V      =&H6F9  : '(C%,J%,I%)
62601 SETP.ADT    =&H5DC  : '(O%,P%)
62602 ADTSH.M     =&H5E1  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62603 ADTSH.MC    =&H5E6  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62604 ADTSH.V     =&H5EB  : '(A%,B%,C%,D%,E%)
62605 ADTSH.VC    =&H5F0  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62606 ADTMH.M     =&H5F5  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62607 ADTMH.MC    =&H5FA  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62608 ADTMH.V     =&H5FF  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62609 ADTMH.VC    =&H604  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62610 ADTCH.M     =&H609  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62611 ADTCH.MC    =&H60E  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62612 ADTCH.V     =&H613  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62613 ADTCH.VC    =&H618  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62614 ADTSV.M     =&H61D  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62615 ADTSV.MC    =&H622  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62616 ADTSV.V     =&H627  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62617 ADTSV.VC    =&H62C  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62618 ADTMV.M     =&H631  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62619 ADTMV.MC    =&H636  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%,I%)
62620 ADTMV.V     =&H63B  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62621 ADTMV.VC    =&H640  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62622 ADTCV.M     =&H645  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62623 ADTCV.MC    =&H64A  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%,I%)
62624 ADTCV.V     =&H64F  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62625 ADTCV.VC    =&H654  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62626 IADTSH.M    =&H659  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62627 IADTSH.MC   =&H65E  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62628 IADTSH.V    =&H663  : '(A%,B%,C%,D%,E%)
62629 IADTSH.VC   =&H668  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62630 IADTMH.M    =&H66D  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62631 IADTMH.MC   =&H672  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62632 IADTMH.V    =&H677  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62633 IADTMH.VC   =&H67C  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62634 IADTCH.M    =&H681  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62635 IADTCH.MC   =&H686  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62636 IADTCH.V    =&H68B  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62637 IADTCH.VC   =&H690  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62638 IADTSV.M    =&H695  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62639 IADTSV.MC   =&H69A  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62640 IADTSV.V    =&H69F  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%)
62641 IADTSV.VC   =&H6A4  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62642 IADTMV.M    =&H6A9  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62643 IADTMV.MC   =&H6AE  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%,I%)
62644 IADTMV.V    =&H6B3  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62645 IADTMV.VC   =&H6B8  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62646 IADTCV.M    =&H6BD  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
62647 IADTCV.MC   =&H6C2  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%,I%)
62648 IADTCV.V    =&H6C7  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%)
62649 IADTCV.VC   =&H6CC  : '(A%,B%,C%,D%,E%,F%,G%,H%)
65500 INITF%=1 : CALL INITIAL : GOTO 100
65501 '  ** マシン語 program 名 .... HANDL

65502 '  ** マシン語 size      .... 45F1H ( 17905) Byte

65503 '  ** BASIC merge file 名 .... TABLE

65506 ' 《割付 I/O ポートアドレス》 (16進数)
65507 'PI-32T(98)  --> 1枚目...10D0  2枚目...10D4

65508 'AD12-16TA(98) --> 1枚目...11D0

65509 'DA12-4(98)  --> 1枚目...12D0

```

付録 C 漏洩流量・浮上量の計算式

1. 概要

本空気軸受継手の設計に用いた空気軸受部からの漏洩流量と浮上量の計算式について述べる。

2. エア・シール部からの漏洩流量

隙間が h 、幅が Δx の狭い隙間を幅と直角方向 (y) 粘性係数 μ 、密度 ρ の圧縮性流体が流れるとき、重量流量 w は次式で与えられる。

$$w = \frac{\Delta x \cdot h^3 \cdot \rho}{12\mu} \cdot \frac{dP}{dy} = \frac{\Delta x h^3 \cdot \rho a P}{12\mu Pa} \cdot \frac{dP}{dy} = -\frac{\Delta x h^3 \rho a}{24\mu Pa} \cdot \frac{dP^2}{dy} \quad (1)$$

ここに、 ρa は標準状態での値、
 Pa は大気圧

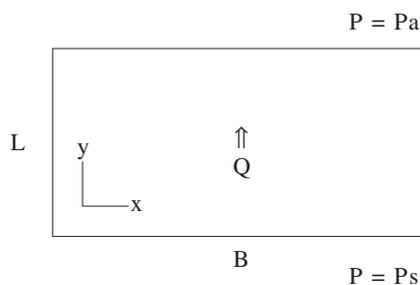


図 C-1

これを求めると、図 C-1 のような幅 B 、長さ L 、隙間 h のすきまを流れる流量 Q は次のようになる。(ただし、右側及び左側の境界では、 x 方向の流れはないとする)

$$Q = \frac{\rho a}{24\mu} \cdot \frac{Ps^2 - Pa^2}{Pa} h^3 \frac{B}{L} \quad (\text{kg/sec}) \quad (2)$$

直径 D 、軸方向長さ L 、隙間 h の円筒状領域を流れる流量は、上式で $B = \pi D$ として、

$$Q = \frac{\pi \rho a}{24\mu} \cdot \frac{Ps^2 - Pa^2}{Pa} h^3 \frac{D}{L} \quad (\text{kg/sec}) \quad (3)$$

となる。

計算では、 $\mu = 1.833 \times 10^{-10}$ (kgf·s/cm²·k)
 $\rho a = 1.223 \times 10^{-3}$ (kgf·s²/1·cm)
 $Pa = 1.033$ (kgf/cm²)

なる値を求めている。

ここで、エア・シールの形状は下記の表 C1 を用いた。
ここで、 h は実測値を用いている。

表 C-1 計算に用いた数値モデル

| | L | D | h |
|------------|-------|--------|-------|
| 出力軸筒・内側浮軸間 | 30 mm | 100 mm | 16 μm |
| 内側浮軸・外側浮軸間 | 30 mm | 156 mm | 16 μm |
| 外側浮軸・軸受基盤間 | 30 mm | 220 mm | 16 μm |

3. 空気軸受の性能計算

空気軸受の特性は、全てレイノルズ (Reynolds) 方程式を解くことによって得られる。

レイノルズ方程式は、気体の運動方程式 (Navier-Stokes) 連続の式、気体の状態方程式、エネルギー方程式を連立させたもので膜が薄いことを考慮すると、次の式になる。

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(H^3 P \frac{\partial P}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(H^3 P \frac{\partial P}{\partial \zeta} \right) = \lambda \frac{\partial}{\partial \xi} (PH) + \sigma \frac{\partial}{\partial \tau} (PH) \quad (4)$$

ここで、

$\xi = x/R$, $\zeta = y/R$ R : 潤滑面の代表長さ

$H = h/h_0$, h_0 : 代表膜厚さ

$P = p/p_a$, p_a : 代表膜厚さ

$\lambda = \frac{6\mu (u_1 - u_2) R}{p_a h_0^2}$: ベアリング数

u_1, u_2 : 軸・軸受の相対速度

$\sigma = \frac{12\mu \nu R^2}{p_a h_0^2}$: スクイズ数

$\tau = \nu t$, ν : 振動角速度

静圧軸受の場合は、給気孔を特異点として扱い。給気孔での圧力 P_0 は給気孔を通して軸受内に流入する気体の質量流量 m_{in} と、隙間を通して軸受外に流出する気体の質量流量 m_{out} が等しいとして求めることができる。

今回の軸受の場合、軸・軸受間の相対速度は、薄膜内の空気の流速に対して無視でき、また、空気膜の動的な特性は問題にしないから、結局、レイノルズ方程式は、

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(H^3 P \frac{\partial P}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(H^3 P \frac{\partial P}{\partial \zeta} \right) = 0 \quad (5)$$

として扱える。

給気孔からの流入は、オリフィスを通る断熱噴流の式から、次式によって与えられる。

$$m_{in} = \psi \cdot Co \cdot a \frac{Ps}{\sqrt{RT_0}}$$

ここに、 C_o はオリフィスの流量係数で本計算では0.85を用いた。 P_s は給気圧力、 R はガス定数、 T_o は給気温度である。

a はオリフィス面積であり、今回の軸受では、

$$\frac{1}{a^2} = \frac{1}{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)^2} + \frac{1}{(\Pi d h)^2} \quad (6)$$

により求めた、 d は給気孔径、 h は軸受隙間(浮上量)ラジアル軸受の場合は $a = \pi d h$ としてもかまわないが、浮上型のスラスト軸受の場合は上式を用いる。

ψ はオリフィスの流出速度係数で、次式で与えられる。

$$D_s = \sqrt{2 g \frac{K}{K-1} \left[\left(\frac{P_o}{P_s} \right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{P_o}{P_s} \right)^{\frac{(K+1)}{K}} \right]}, \quad \frac{P_o}{P_s} \geq \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K}{(K-1)}}$$

$$D_s = \sqrt{2 g \frac{K}{K+1} \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{2}{(K-1)}}}, \quad \frac{P_o}{P_s} < \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K}{(K-1)}}$$

g は重力加速度、 k は気体の断熱指数軸受からの流出流量は、 u を境界面と直角方向の流速とすれば、

$$m_{out} = \int_{\text{軸受エッジ}} \rho u d1$$

で与えられ、また、負荷容量は、

$$W = \int_{\text{軸受面}} (P - P_a) dS$$

となる。

計算手順としては、例えば次のようになる。

(1) 隙間 h が決まっている時、

P_o を仮定

m_{in} 、 m_{out} を計算

$m_{in} = m_{out}$ となるように P_o のsearch

W と k の計算

(2) W が来ている場合

(1)の手順を繰り返して所望の W となる h をsearchする。