

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-674

航技研遷音速風洞の測定胴設備改修の概要について

鈴木弘一・細江信幸・中村正剛・小池陽
飯島由美・小国保男・河本巖・海老原正夫

1995年1月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. 序論	1
2. 経緯	2
3. 作業の内容	3
4. 各設備の改修作業と性能	5
4.1 集合胴整流金網	5
4.2 上流・下流ゲート	6
4.3 可変ノズル	11
4.4 測定部	23
4.4.1 全機模型用カート（第1カート）	23
4.4.2 半截模型用カート（第2カート）	33
4.4.3 多溝壁カート（第3カート）	36
4.5 蛇腹棒	41
4.6 再導入口と蝶型弁	44
4.7 第1屈曲部	47
4.8 大扉	47
4.9 測定胴主制御装置	51
4.10 関連作業	56
4.11 その他の検討事項	62
5. 今後の課題	63
6. まとめ	63
7. 参考文献	63

航技研遷音速風洞の測定胴設備改修の概要について*

鈴木 弘 一** 細江 信 幸** 中村 正 剛**
小池 陽** 飯島 由 美** 小国 保 男**
河本 巖** 海老原 正 夫**

Refurbishment of the NAL 2m × 2m Transonic wind tunnel test section

Kouichi SUZUKI**, Nobuyuki HOSOE**, Seigo NAKAMURA**,
Akira KOIKE**, Yoshimi IJIMA**, Yasuo OGUNI**,
Iwao KAWAMOTO**, Masao EBIHARA**

Abstract

This paper summarizes the works on the test section area as part of a whole-scale refurbishment of the NAL 2mx2m transonic wind tunnel. The area ranges from the upstream settling chamber to the downstream high-speed diffuser end corner vane. The works were started in April 1988 and were completed in March 1994, and include the replacement of the test section master control system, the flexible nozzle control system, and several driving mechanisms associated with the test section configuration changes. Descriptions are given of the process and the content of the refurbishment together with the improvement in performance.

KeyWords :Transonic wind tunnel, test section

概 要

航空宇宙技術研究所の2m×2m遷音速風洞測定部周辺設備の改修作業を行った。改修設備は、測定部前後に位置する集合胴から第1屈曲部までの範囲である。

改修作業は1988年4月から開始し、1994年3月に完了した。本編では、測定部周辺設備の改修機器、改修経緯、改修内容及び改修後の設備の性能等について概要を記述し、風洞関係者及び使用者の参考に共する。

1. 序 論

2m×2m遷音速風洞¹⁾は、1960年に稼働を開始してから、我が国唯一の大型実用風洞として、内外の航空機及び飛翔体の研究開発に貢献してきた。しかし、稼働開始から30年余を経過するにつれて、風洞各所に老化による故障や不具合が起ころはじめ、風洞運転にも支障を来す事が多くなってきた。このため、各部の故障や不具合による大事故の発生を未然に防ぐため、風洞各所の抜本

的な改修を行うことになった。一方、技術的な発達と共に風洞試験法が進歩する中で、風洞設備に対する要求も精度向上、効率化等、多様になってきた。

こうした背景の中で、風洞全体の改修作業計画が立案され、具体的な作業を1985年から着手した。(表1)

はじめに、風洞動力の基礎となる主送風機を駆動する電動機とそれを制御する関連設備を更新²⁾した。引続いて、風洞内に充填する乾燥空気を作るための高圧乾燥空気製造設備³⁾と、風洞内圧力を所定の圧力に制御するための風洞内圧調整設備⁴⁾が改修され、更に超音速気流を実現するためカート壁から抽気するために使用する補助送風機設備とその運転制御機器を更新⁵⁾した。

そして、これら一連の改修作業の締めくくりとして、

* 平成6年11月28日受付 (received 28 November 1994)

** 空力性能部 (Aircraft aerodynamic division)

表1 遷音速風洞改修作業年表

番号	区 分	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
1.	送風系 (a)主送風機系 (b)補助送風機系	⇐	⇔	⇒			⇐	⇔	⇒		
2.	内圧調整系 (a)排風機 (375KW) (b)高圧貯気槽 (第4球) (c)空気圧縮機 (1200KW) (d)空気圧縮機 (530KW) (e)胴体シール (バルブ類)			⇔	⇔ ⇔	⇔					
3.	測定部設備 (a)主制御装置 (b)可変ノズル (c)第1偏流翼 (d)カート (第1, 2) (e)模型支持装置 (f)カート (第3)				⇐ ⇐	⇔ ⇒ ⇐	⇔ ⇒ ⇔	⇔ ⇐	⇔ ⇒	⇒	⇔
4.	計測装置 (a)データ処理装置 (b)信号処理インターフェイス (c)非定常計測 (d)天秤校正装置 (e)天秤					⇔				⇔ ⇔ ⇔ ⇔	
5.	冷却器系									⇐	⇒
6.	その他 (a)防音工事 (1974..1977) (b)風洞基礎									⇔ ⇔	

1994年から1995年にわたり風洞内気流温度調整用と風洞補機設備類の冷却用に使用するための冷却水設備を改修中である。

これらの遷音速風洞制御研究室の担当する改修作業と平行して、遷音速風洞計測研究室の担当する測定胴設備の改修作業は、1988年4月から着手され⁶⁾、1994年3月に完了するまで、風洞試験に支障を来さないように設備毎に順番に行ってきた。測定胴設備の改修範囲は、集合胴から測定部を経て、第1屈曲部に至るまでの間に配置された風洞設備である。この改修の目的は、老朽化した箇所を修理又は更新して性能を向上させ、設備類の見直しを行い、不要な設備は整理して機器の取扱いを容易にすること、各種駆動部の設定精度を向上させること及び保守点検に手間が掛からなくなるようにすること等の改善を図ることである。

記述の順序は、今回の改修作業で実施した測定胴設備について、設備配置の順番に沿って風洞の上流側から下流側に向かって行うこととし、それぞれの設備毎に項目を設けて説明する。

2. 経 緯

既に述べたように、1980年代に入って遷音速風洞測定胴設備は老朽化による各部分の故障や不具合が著しくなり、風洞試験の円滑な実施が困難で、危険な運転状態となってきた。従って、緊急に測定胴設備の抜本的な改修を行い、大規模な事故の発生を未然に防ぎ、風洞試験の円滑な遂行を確保する必要が痛感され、遷音速風洞全体改修の一環として1988年から具体的な作業が始められることになった。

改修にあたっては、設備のオーバーホールだけでなく、稼働開始以来30年間一定の水準にある風洞試験能力を、更に高い水準に引き上げることを基本に置いた。

測定胴設備関係の老朽化による不具合は、風洞試験に支障を来す故障が1975年頃から現れ始め、初期には状態表示機器に多く発生したが、やがてリレーやリミットスイッチなどの末端制御機器に移り、引続いて可変ノズル駆動用油圧発生装置の制御系など中枢機器に及ぶようになってきた。改修に入ってから、1989年には測定部大

扉の駆動装置が故障して試験が実施出来なくなるなど、機械装置の方でも重大な不具合が発生するようになった。特に危険な事は、操作者が気が付かない間に故障が潜在的に進行していて、操作中に突然不具合が起り、大事故を起こすことである。このような事態は、絶対に避けなければならない。これに該当する重大な故障として、例えば全機模型用カート（第1カート）の模型支持装置の落下事故がある。幸い、人身事故に至らなかったが、この故障は不具合箇所が異なる部署に起因して2回発生した（1970年及び1979年）。

そのほか、不具合を生じた事例、故障の原因及び対策等は、個々の設備の作業項目のところで説明する。

今回の改修作業では、このように明らかな不具合箇所の改修のほか、駆動機構を手動操作から自動操作に改修し、装置の簡略化と機能向上を図り、安全で信頼性のあるシステムを構築し、風洞試験の効率化と精度向上を目標に設定して作業を行ったが、十分、満足する結果が得られたものと確信している。今後、設備の稼働時間の増加と共に、新しい問題が生ずる事が想像されるが、この改修作業の中で検討した事柄が十分な知識となって、生かされていくものと考えられる。

3. 作業の内容

2m×2m遷音速風洞の測定胴周辺設備は、大別すると図1に示すように、風洞内の気流の流れに沿って、①集合胴整流金網から⑩第1屈曲部までの間にある11箇所の設備と⑫測定胴主制御装置である。設備毎に用途が異なるので、老朽化の程度もそれぞれ異なる。これらの測定胴設備を集中的に監視、運転及び制御する設備として、測定部中央に近接した計測室の中に[A]測定胴主制御装置、[B]中央操作卓及び[C]中央監視盤を新設した。

これらは、各設備に付属した機側制御盤と通信回線で接続して、制御情報を交信する方法を取入れることにした。その結果、全ての設備の動作状態を計測室で集中的に監視出来るようになった。尚、風洞試験のデータ取得と処理は、併設されたデータ処理システムで行う。

その他、各設備については機器類の点検作業を実施して現状を把握したのち、それに基づいて改修作業内容を検討し、全体の改修作業計画を決定した。その後は、個々の設備毎の作業内容を作成して、それに基づいて必要な設計、製作を行い、図面及び作業手順書を作成し、それに基づいて改修作業を実行し、改修完了後に性能検査要領書に従って性能検査を実施した。表2に改修作業を実

表2 遷音速風洞測定胴改修作業年表

遷音速風洞 測定胴設備	昭和63年度 (1988)	平成元年度 (1989)	平成2年度 (1990)	平成3年度 (1991)	平成4年度 (1992)	平成5年度 (1993)
①集合胴整流金網		改修作業				
②上流ゲート	改修作業					
③可変ノズル	改修作業 (含可撓板検査)					
④第1カート (全機模型用)	改修基本設計 (模型支持装置)		改修作業 (カート本体)	改修作業 (模型支持装置)		
⑤第2カート (半載模型用)			改修作業 (カート本体)		改修作業 (模型支持装置)	
⑥第3カート (全機模型用)						改修作業 (カート本体)
⑦蛇腹棒		改修作業				
⑧再導入口(噴気室)		改修作業				
⑨下流ゲート		改修作業				
⑩蝶型弁					改修作業	
⑪第1屈曲部偏流翼		改修基本設計	改修作業			
⑫大扉		改修作業				
⑬測定胴主制御 装置	改修作業	機能追加 (ゲート, 大扉)	機能追加 (カート壁駆動)	機能追加 (全機模型支持)	機能追加 (半載模型支持)	機能追加 (第3カート)
⑭関連作業	胴体貫通部 設置工事 補機室天井	計測室フリー アクセス工事	胴体貫通部			トロリーダクト (カート移動) 第3期防音工事

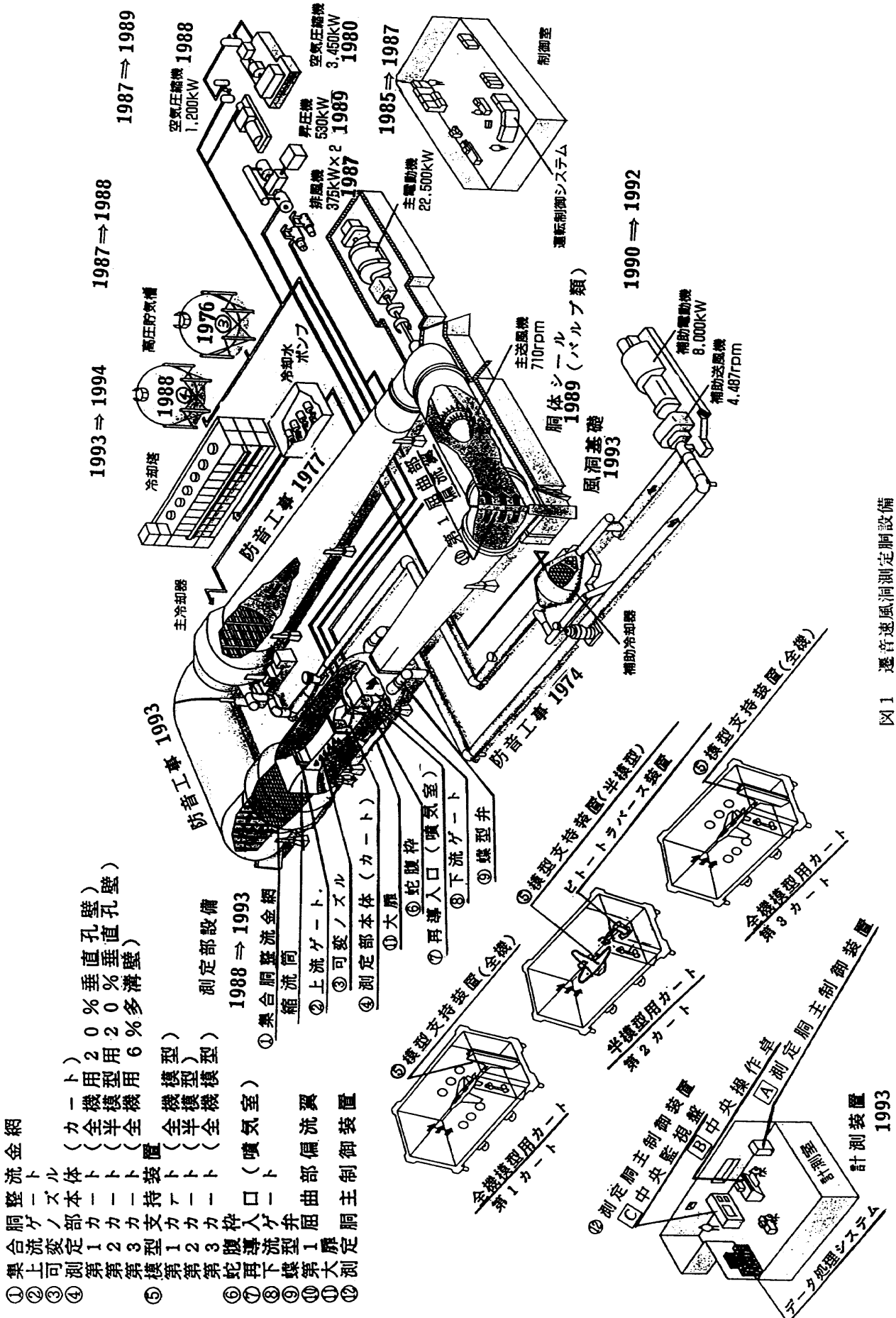


図1 遷音速風洞測定胴設備

施した作業年次を示す。

4. 各設備の改修作業と性能

次に各設備について、個別に作業内容を記述するが、最初に実施した点検作業は、次の事を基本にした。

- (1)機能変更の改造部分を除き、点検作業後は現状に復帰することを原則とする。そのために必要な場合には、事前調査及び計測を行う。
- (2)改修作業範囲内の駆動機器は、全て開放点検を行い、必要な部品交換を行う。
- (3)特殊形状のシールパッキン、フランジ用パッキン、たわみフランジ等のゴム製品、Oリング、オイルシール及びころがり軸受け等の部品は新品と交換する。
- (4)測定胴内機器の油濡れ防止のため、フェルトリング形式のものをオイルシール方式に変更する。
- (5)グリース給油箇所は全て分解、清掃を行い、給脂箇所は更新する。
- (6)誤動作防止のため、リミットスイッチ、胴内電気配線は全て更新する。
- (7)各部駆動装置用電動機は、軸受け交換、絶縁計測等の整備を行い、使用に耐えないものは更新する。
- (8)その他、操作上、取扱い容易になると思われる改修は、極力実施する。

4.1 集合胴整流金網

集合胴整流金網は、図1に示すように測定部、縮流筒の上流にあり、直径10mの大きさである。ここに14メッシュ

ユの粗さのリン青銅製の網が3枚、一定の間隔をおいて張ってある。この金網の役割は、風洞内の気流を測定部直前で整流し、気流の非一様性と乱れを取り除くことである。構造的には、図2に示すように集合胴の2重構造部分にワイヤを布カンバスで包んだものを外周として、これにスプリングを介して金網を取付けている。不具合箇所として予想されたのは、この布カンバスが腐食して破れていること、金網を引張っているスプリングが錆びていること等であった。この金網は、風洞試験中に気流の荷重を受けているので、故障の程度によってはスプリングが破断に至ることも考えられ、その場合には金網全体を更新することになるので、大変な作業になる恐れがあった。そこで、最悪の場合を考えて点検作業と改修作業が継続して出来るように、先ず金網の清掃、取付金具の分解、点検、清掃及び部品交換から行った。これらの作業の結果、心配された不具合箇所も特に重大な欠陥は見受けられず、目視による点検では良好な状態であり、今後も安心して使用出来る見込みである事が分かった。具体的な作業は、次の手順で実施した。先ず、集合胴下部にあるマンホールと上流側のマンホールから足場の機材等を搬入し、金網の両側に足場を設置してから、清掃、点検及び改修作業を実施した。

(1) 点検の結果は、良好であった。即ち、30年前に設置された物と思えない程各部品共健全な状態にあり、金網の損傷もない事が分った。但し、下流側の金網下部取付金具の一部に、過去の金網洗浄時の湿気のためか、多少錆びが発生している箇所のある事が指摘された。

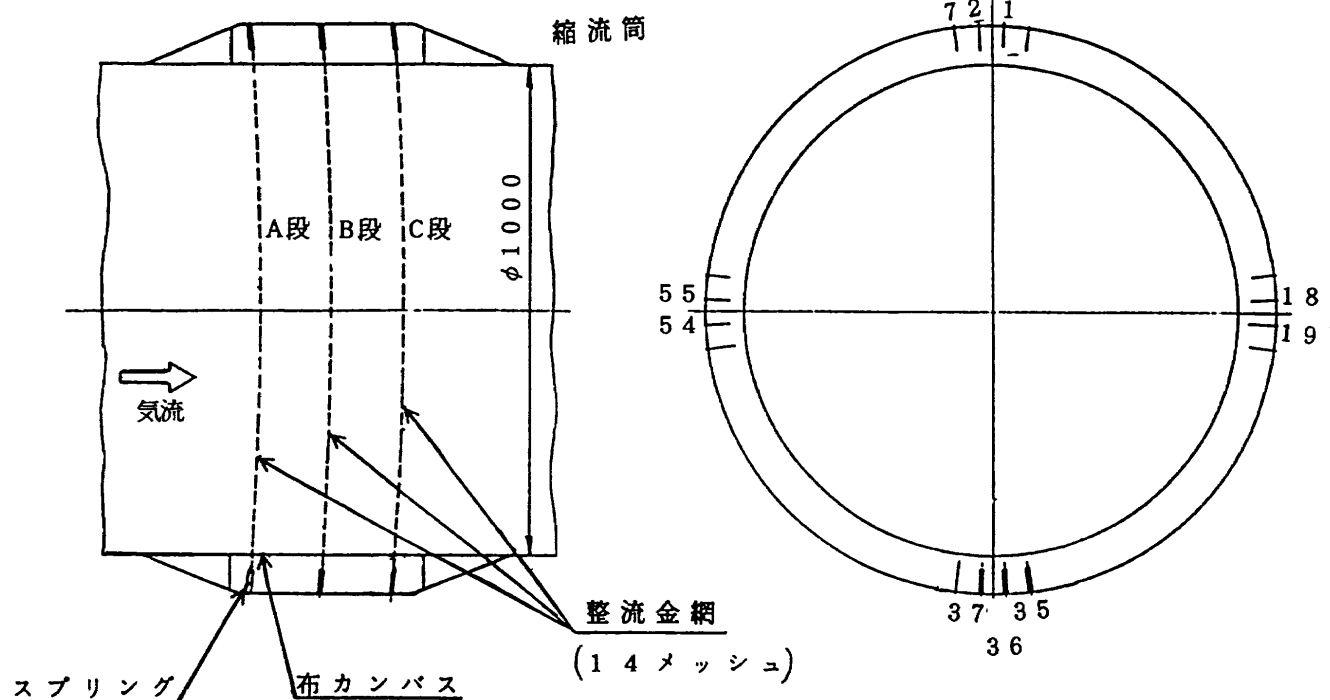


図2 集合胴整流金網

(2) 金網にアルミ箔や塗料等の粉片及び繊維状の物が付着していたが、これらは油で固着している状態ではなく、ブラシを掛ける程度で落下した。足場を組んで、金網の両面から小さ目のブラシで丁寧にこすり落としたりと、十分効果があったので、洗浄液を使用する必要がなかった。このため、洗浄液を使用した場合に予想される2次の障害を避けることが出来た。

(3) 金具類はほぼ全てが健全な状態にあり、錆びの発生している一部を除いては、十分に再使用可能と思われたのでそのまま再使用することにした。不良と思われたターンバックル3箇所、バネ2箇所、バネ受筒2箇所、スプリングクランプ数箇所は部品交換を実施した。

(4) キャンパス用鋼索は、一部にゆるんでいる箇所があったので、張り直し等の調整作業を実施した。

(5) キャンパスは布製の割には腐れもなく健全な状態であり、ゴム類も硬化が見られず十分弾力性を保っていたので、そのまま再使用することにした。

4.2 上流・下流ゲート

上流ゲートは測定部上流に存在し、下流ゲートは測定部下流に存在して、模型交換などの作業に際して、人身の安全の確保や乾燥空気の節約のため、測定部を風洞の他の部分から遮断するために閉じる扉である。1回の試験毎に開閉駆動させるため、過去に駆動軸の異常振動、駆動部の角ネジ焼き付きが起り、駆動軸の負荷を緩和する処置等に対処していたが、最近ではリミットスイッチの破損などの故障、不具合が生じていた。今回の改修作業では、補修駆動用モータ、減速機等を交換するなどの必要な処置を行った。

遷音速風洞は、マッハ数1.4までの試験が出来るように設計されており、このため、風洞内を流す空気は十分に乾燥させたものを使用している。即ち、集合胴凝み点温度60℃、マッハ数1.4において、絶対湿度が 5×10^{-4} (露点温度-22℃に相当)を得られるような空気を供給するように設計されている。その理由は、測定部を流れる空気が超音速になった時に、冷やされて空気中の水分が凝縮し、氷の粒となって模型及び周囲の気流を乱す事を避けるためである。これらの現象に関しては、この風洞の予備試験装置による実験⁷⁾の時に、シュリーレン写真撮影が行われ、その映像から凝結衝撃波の存在が確認されている。従って、このような衝撃波の発生を防ぐためには、風洞内の空気の露点温度を、マイナス10℃以下に保つ必要がある。このため、この風洞で上述のような超音速の試験をする場合には、風洞試験に先立ち、風洞内の湿った空気を取り出すために40kPa程度まで減圧排気し、そこに特別に製造した乾燥空気を充填するようにしている。充填した空気を含む風洞内の空気の乾燥度は、露点温度

計で計測し、不十分な場合には、更に排気及び充填を繰り返す。1回の操作時間は、30分から1時間位と長時間を要する。これらの操作は、模型の形態変更などで測定部に入入りした後にも必要となるが、その場合には体積の少ない測定部とそれ以外の体積の大きい部分を分けて操作出来る構造になっている。その仕分けの役目を果たするのが、測定部の上流と下流に設けられたゲートである。

1回の風洞試験が終了し、模型形態変更などのため測定部内に入る時には、上流と下流のゲートを全閉にして、風洞内の気圧を大気圧に戻す。こうすることにより、大気中の湿った空気が測定部以外の風洞内に侵入することを防ぐほか、体積の大きい部分の圧力を一定にしたまま、測定部だけを大気圧に変更して入室することも可能である。これは、乾燥空気を無駄に使用しないことと併せて、試験の効率を上げることに貢献している。通風時には、上流及び下流ゲートを全開にして気流を通すことは勿論であり、二つのゲートの全開状態が風洞起動時の起動条件に相込まれている。通常の試験では、風洞の通風回数は1日に2～3回なので、ゲートの開閉操作も同様に1日に2～3回程度行っていた。

ゲート設備で問題になっていた不具合は、エアシールパッキンの劣化、駆動軸系の減速機、軸受部からのグリースのしみだし、リミットスイッチの作動不良及び駆動軸の異常振動等であった。ところが、この設備は重量が重く、枠組み全体が大きく、設置位置が他の装置の間に挟まれていることから、周辺装置の改修作業と一緒に作業する必要があった。特にエアシールの交換は、前後の設備を分解する時に一緒に行わない限り、実施することは不可能であった。従って、上流の可変ノズル改修と下流の蛇腹杵改修の作業に合わせて改修計画を作成し、次の手順により実施した。

上流ゲートは、図3に示すように可変ノズルの上流側にあり、更に上流の集合胴との中間に設置されている。ゲート本体は、図4に示すように枠組みと上下案内枠の中を電動機と駆動装置で開閉する構造になっているので、後流側の可変ノズルの分解作業と並行して、本体の分解作業を行うように計画した。

下流ゲートは、カート、蛇腹杵の後流に位置する拡散筒部にあり、構造は図5に示す通りで上流ゲートと同様に、ゲート本体は前後を挟まれているので、蛇腹杵の改修作業と並行して行うように計画した。

改修作業は、上流、下流ゲート共、本体についてはゲート受け枠を分解し、清掃、点検の上、気密パッキン、フランジ用パッキン等の交換を行った。駆動軸系については、ユニバーサルジョイント等の分解、点検、清掃を行い、電動機、減速機、ギアボックス、カップリング、

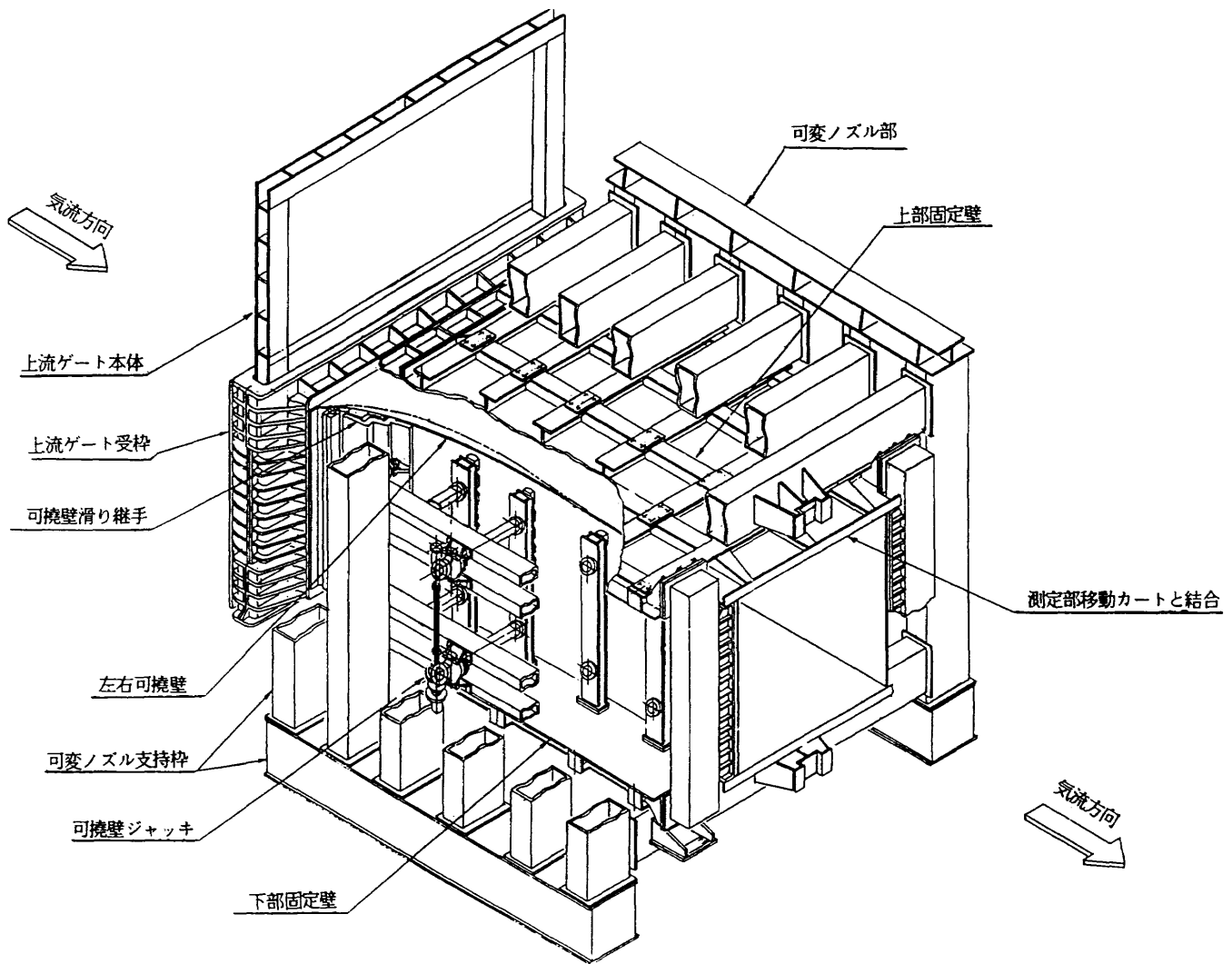


図3 上流ゲート配置 (立体図)

軸受け、軸シール、ブッシュ及びリミットスイッチ等の交換を行った。尚、更新した駆動電動機の形状に合わせて、取付座等を改造して取付、調整した。

分解作業は、ゲートの重量を保持するため、測定部ブリナム室天井に吊上げ用及び横移動用の吊金具を新規に溶接して取付けた。次に、ゲート本体を閉状態にして最上方位置まで持ち上げ、吊金具で支えてから、ゲート受け枠を下流方向と横方向に移動し仮置台の上に設置した。

その状態でゲート昇降用ボールネジ、駆動装置等を分解し、清掃、点検、不良品の更新等の作業を行った。全体を分解と逆の手順により吊り上げ、組立及び調整作業を行った。その結果、不具合は解消された。

改修後の性能等は、表3に示すようになっている。主要な点を箇条書きにすると次の通りである。

(1)上流ゲートの重量は約36kNもあるが、開閉移動距

離2.2m、開閉速度16.11mm/秒で移動すると、開閉の所要時間は約2分14秒である。

(2)下流ゲートの重量は約32kNであるが、開閉移動距離2.6m、開閉速度を19.33mm/秒とすると、開閉の所要時間は約2分10秒である。

(3)上流ゲートと下流ゲートの開閉操作は、カート室機側操作盤と計測室中央操作卓の両方から動作させられるが、安全上の配慮からカート室優先にしており、カート室機側操作盤のスイッチ選択により、「機側」と「中央」に切換えて操作が可能である。図6に開方向に駆動した時のタイムシーケンスを示す。開指令を受けたらゲート周囲の気密を保つエアシールゴム内の空気を放出完了してから、モータを駆動しゲート動作させ、全開後は気密を保つためエアシールゴム内に空気を充填する。

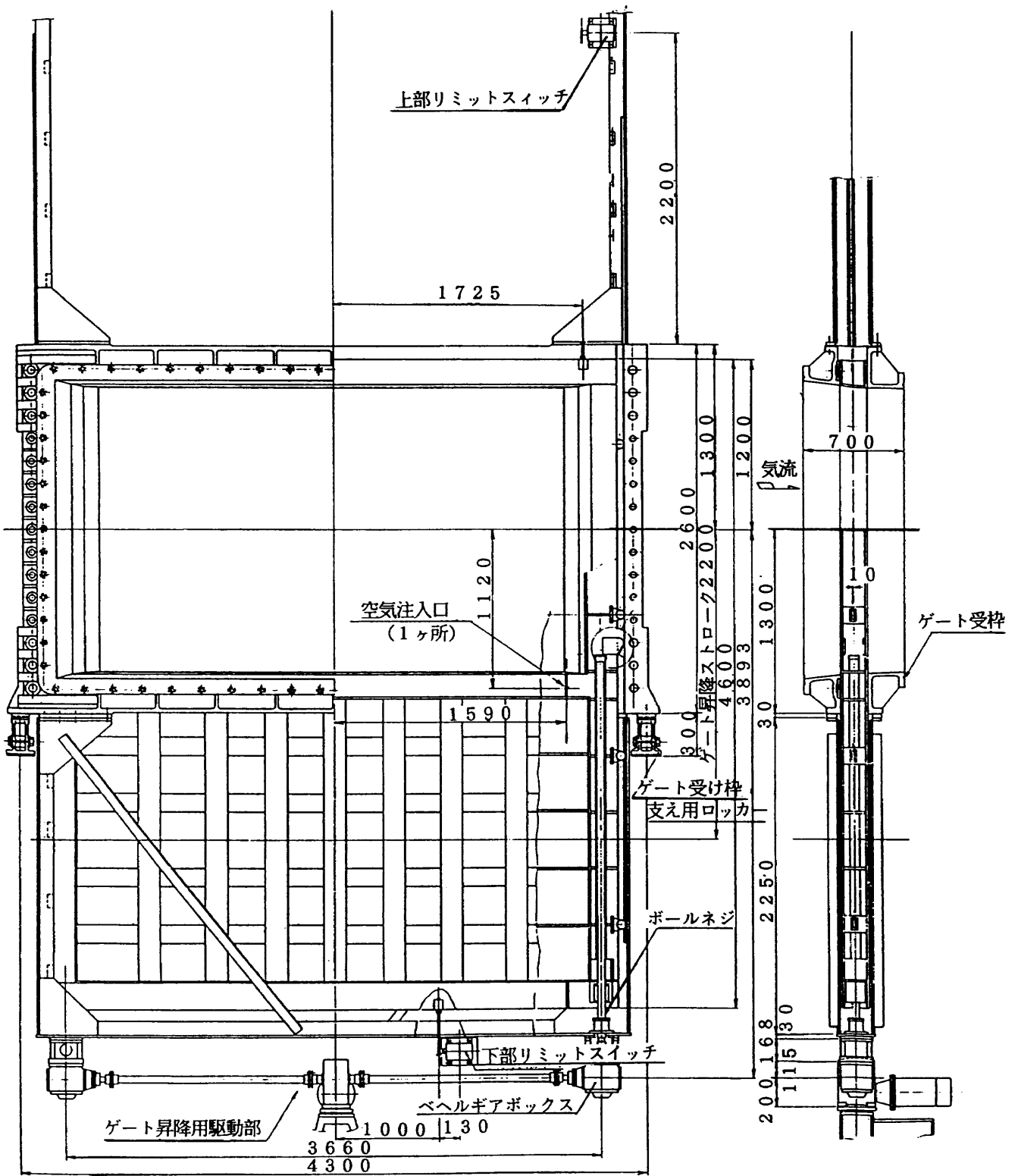


図4 上流ゲート

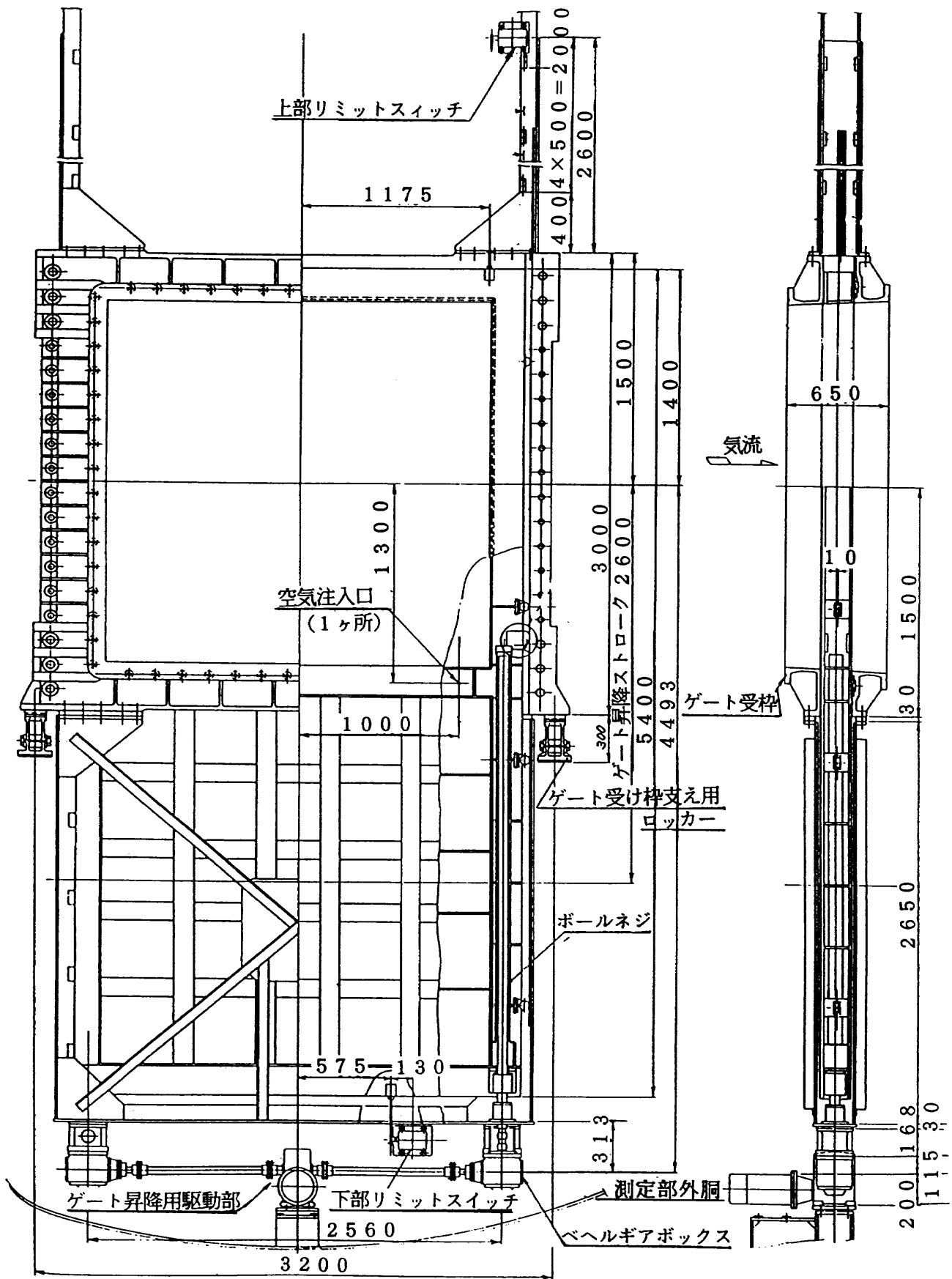


図5 下流ゲート

表3 上下流ゲートの要目

項目	上流ゲート	下流ゲート
ゲート移動距離 (mm)	2,200	2,600
ボールネジ軸径 (mm)	φ50	φ50
ボールネジリード (mm)	10	12
ゲート昇降速度 (mm/秒)	16.11	19.33
ゲート開閉時間 (秒)	136.6	134.5
ゲート重量 (N)	36,260	31,850
ゲート最大押上力 (N)	84,015	70,011
ボールネジ許容圧縮荷重 (N)	142,031	931,698
ボールネジ許容回転数 (rpm)	219	157
ボールネジ実回転数 (rpm)	96.7	96.7
モーター出力 (kw)	2.2	2.2
モーター回転数 (rpm)	1,450	1,450
ウォーム減速比	1:15	1:15
ベベルギア減速比	1:1	1:1
ボールネジ取付間距離	3,660	2,560
中間軸最大偏心量 (mm)	23.6	13.9

- (4)開方向の場合には、プリナム室とその外側の風管との間の圧力差が少ないことを動作条件としている。これは、作業者の安全確保と機構に無理が掛からないようにする保安上の対策である。この差圧は専用の圧力計で検出し、ゲート開閉の操作条件に組み込み、操作盤にも状態表示を行っている。即ち、ゲートの開操作時に差圧が+0.67kPa以上、-0.67kPa以下だとシールエアを放出出来ないで開指令を受け付けず、それ以降のシーケンスには進まないで、そのような時には事実を確認した後、その条件になるように測定部内の圧力を調整するなどの操作が必要である。尚、差圧の有無の表示は、計測室中央監視盤の測定部イメージ図のゲート表示位置にあり、差圧が少ないと緑ランプを点灯し、差圧が大きいとランプを消灯する。
- (5)閉方向の場合には、風洞が停止していれば圧力差がない筈だから、何時でも動作可能状態であるが、急激な圧力変更中の操作は避けないと危険である。
- (6)尚、開閉動作中は、安全確保のため警報ランプと共に、警報音を発して周辺での作業者の注意を喚起することとしている。

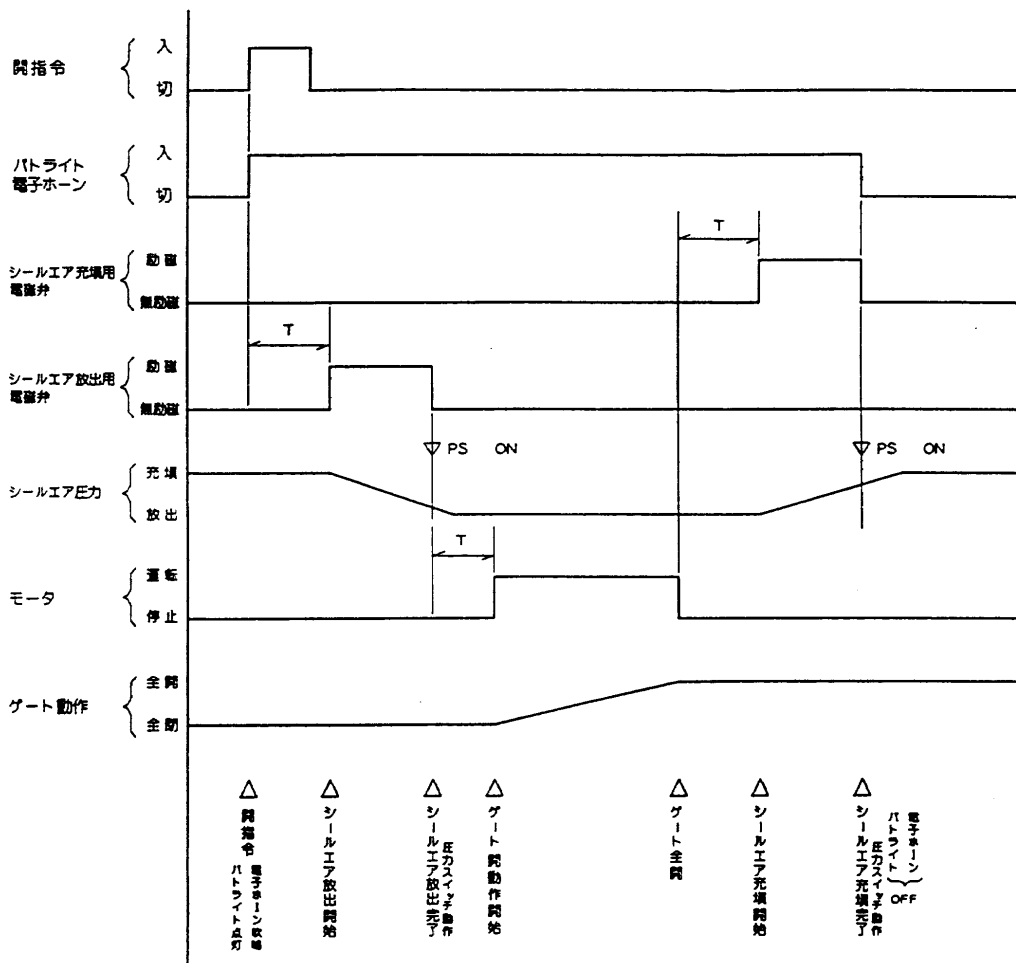


図6 ゲート駆動シーケンス (開方向)

(7)ゲートの状態表示は、計測室中央監視盤の測定部イメージ図中の上流ゲート及び下流ゲート位置に表示する。全閉時は赤ランプを点灯して風路の締切り表示を行い、開動作中は赤ランプを点滅し、全開になるとランプ表示を消して通風可能状態であることを示す。

4.3 可変ノズル

可変ノズルは、図3に示した上流ゲートの下流にあり、測定部上流に接続した部分である。この部分は測定部マッハ数を1.0以上に設定する場合に用いるもので、目標とするマッハ数を実現するため、測定部上流の風路を予め決められた形状に設定する機能のものである。その構造は、図7に示すように左右壁の可撓板を風路の外側からジャッキで押して、壁面が所定の形になるようにするので、ジャッキは左右の壁に各5基ずつ合計10基ついている。この10基を連動させて、ノズル壁面全体を予め決められた形となるように設定する。図8に示すように改修前の制御方式では、この連動を制御していたのがカム軸で、各カムの回転位置によりサーボバルブがそれに比例するように作動し、カム軸が所定の回転角となるまでジャッキの駆動を命令する方式であった。

このほか、マッハ数の変化に応じてノズル壁面形状を変化させると、気流に接するノズル壁面の長さが変化するので、この調整を行うための滑り継手が上流側に取り付けられている。

改修を要する不具合は、ジャッキを始めとする油圧機器の老朽化、油圧の低下、ガタの発生などのほか、駆動機構の作動も滑らかでなく、ホースのひび割れやシールの劣化による油洩れがひどく、洩れた油が風路内に侵入して模型や風洞を汚して、計測器などに悪影響を与えるなど広範囲に生じていた。

改修前の調査でも、これらの不具合と共に全体が著しく老朽化していることが指摘された。上記のほか不具合箇所としては、カム軸部の駆動軸系の減速機、軸受部からのグリースの著しいしみだし、回転角検出部の駆動軸摩耗による不正確な位置表示、リミットスイッチのパネの劣化による作動不良、サーボバルブ部の劣化による油洩れ及びモータ部からの著しい油洩れ、高圧ゴムホースの劣化による硬直化、ウォーム減速機のグリースの著しいしみだし、ルーズカップリングのスプリングの劣化、滑り継手部の潤滑グリースの固化による可撓板の作動不良、滑り継手の給脂ラインの配管内グリースの固化による給脂不能、可撓板上下端のシールパッキンの破損によるシール不良、可撓板とジャッキ取付部ボルトの弛み、可撓板面の応力モニター用歪ゲージの破損、サーボバルブ軸部からの著しい油洩れ、サーボバルブのジャッキ位

置微調整用のトリムモータ故障による動作不良、サーボバルブ空気抜ボルト頭の損傷、サーボバルブ部のリミットスイッチの作動不良等である。これらの不具合を解消するためには、ノズル可撓板を含めた可変ノズル部全体を分解する必要がある。尚、今後の操作方法として、各機器のオーバーホール後、従来通りの操作方法に復旧するか、或いはカム軸系にサーボ駆動系を追加してノズル形状の設定を自動化するか、または従来のカム軸方式を止めて、位置センサーと計算機によるノズル形状の設定方式に変更するか、何れかの方法を選択する必要がある。

全体の点検作業に先立って、可撓板そのものの検査を実施した。可変ノズルの形状を設定する可撓板は、幅2m全長4.5m、板厚25mmのUSスチール製のT1鋼を使用していたが、風洞建設時の1960年から交換していないので、繰返し使用による疲労が進行している可能性が懸念された。このため、改修に先立ち可撓板部の点検を行い、改修後の耐用年数に関する判断の資料とすることにした。

検査は、可変ノズルの応力レベルの高いジャッキ位置の片側2ヶ所、南北合わせて合計4ヶ所の可撓板取付けネジを外し、ネジ穴周辺の浸透探傷試験（カラーチェック）とスンプ検査を行った。検査したジャッキ位置は、上流から2番目及び3番目のところを選定し、検査したネジ穴は、1ヶ所につき20個、合計80ヶ所である。

浸透探傷試験は、JIS-Z-2343に基づく溶剤除去性染色浸透探傷法で速乾式現像剤を用いて、試験範囲はボルト穴の周囲 ϕ 50~60mmの範囲について実施したが、検査結果は良好であった。一部に製作時に入ったと思われるごく浅い当て傷、ボルト締め付け時や取り外し時に生じたと思われる浅い傷や当て傷が見られたものの検査箇所全数に割れは認められなかった。スンプ検査の結果も同様であり、特に異常な部所は認められず、強度的に問題となる状態ではなかった。

この結果を得て、可変ノズル壁を構成する可撓板は、そのまま使用することに支障がないものと思われたので、従来のものをそのまま組立、再使用することにした。

可変ノズル設備全体の改修作業は、従来設備の不具合部分や検査結果を参考にして検討した後、次の基本仕様に従って実施した。

- (1)ノズル曲線の設定方法は、従来の油圧サーボ方式を止め、電気サーボ方式に改修する。
- (2)従来のカム及びカム軸駆動系の機器類及び油圧サーボ弁、油圧モータ及び注油配管は撤去する。
- (3)可撓板、滑り継手、ジャッキ類は全て取外し、分解、点検、清掃後、必要部品を交換する。
- (4)可撓板に過大な応力が発生することを防止するため、南北可撓板に応力検出用の歪ゲージセンサーを4点

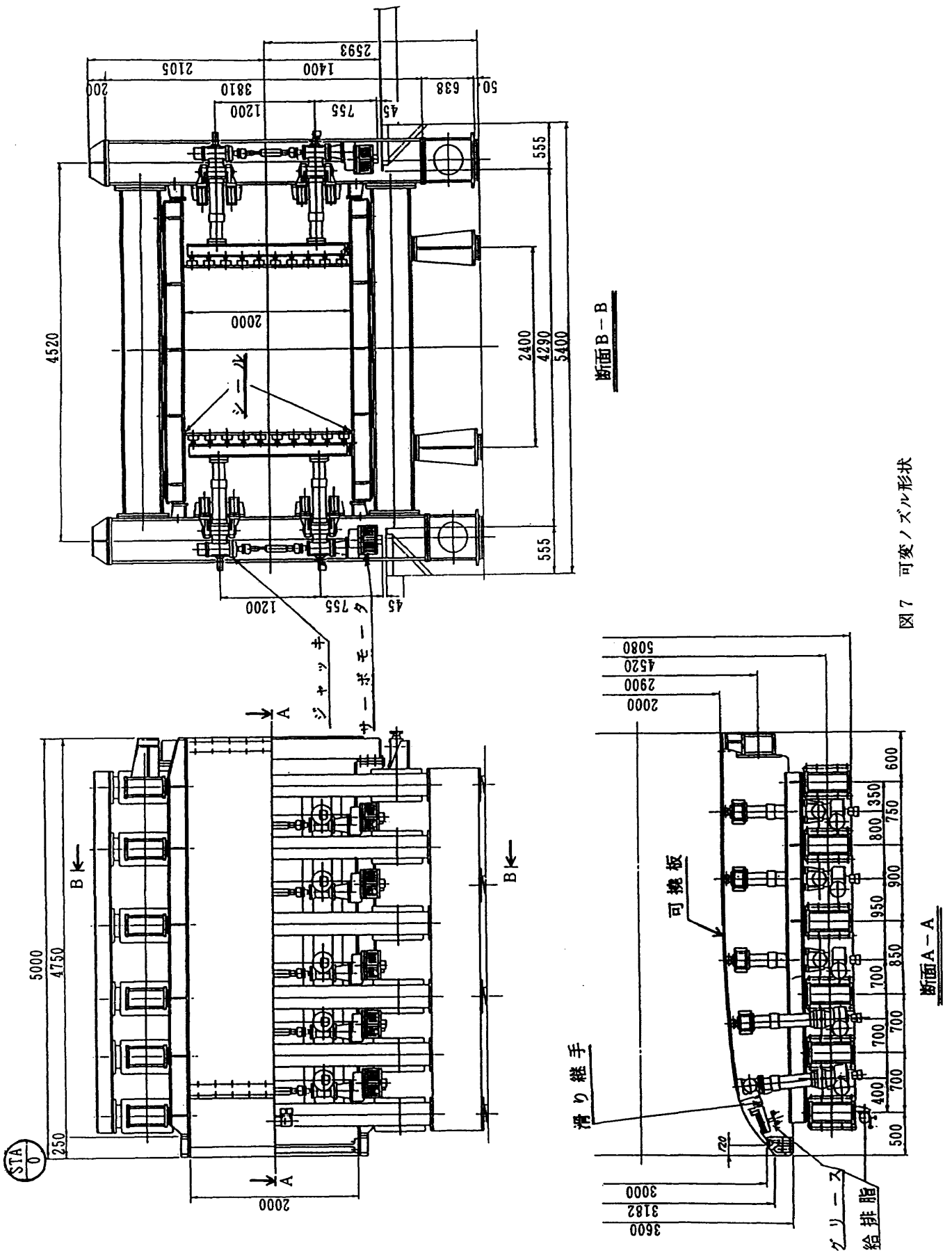


図 7 可変ノズル形状

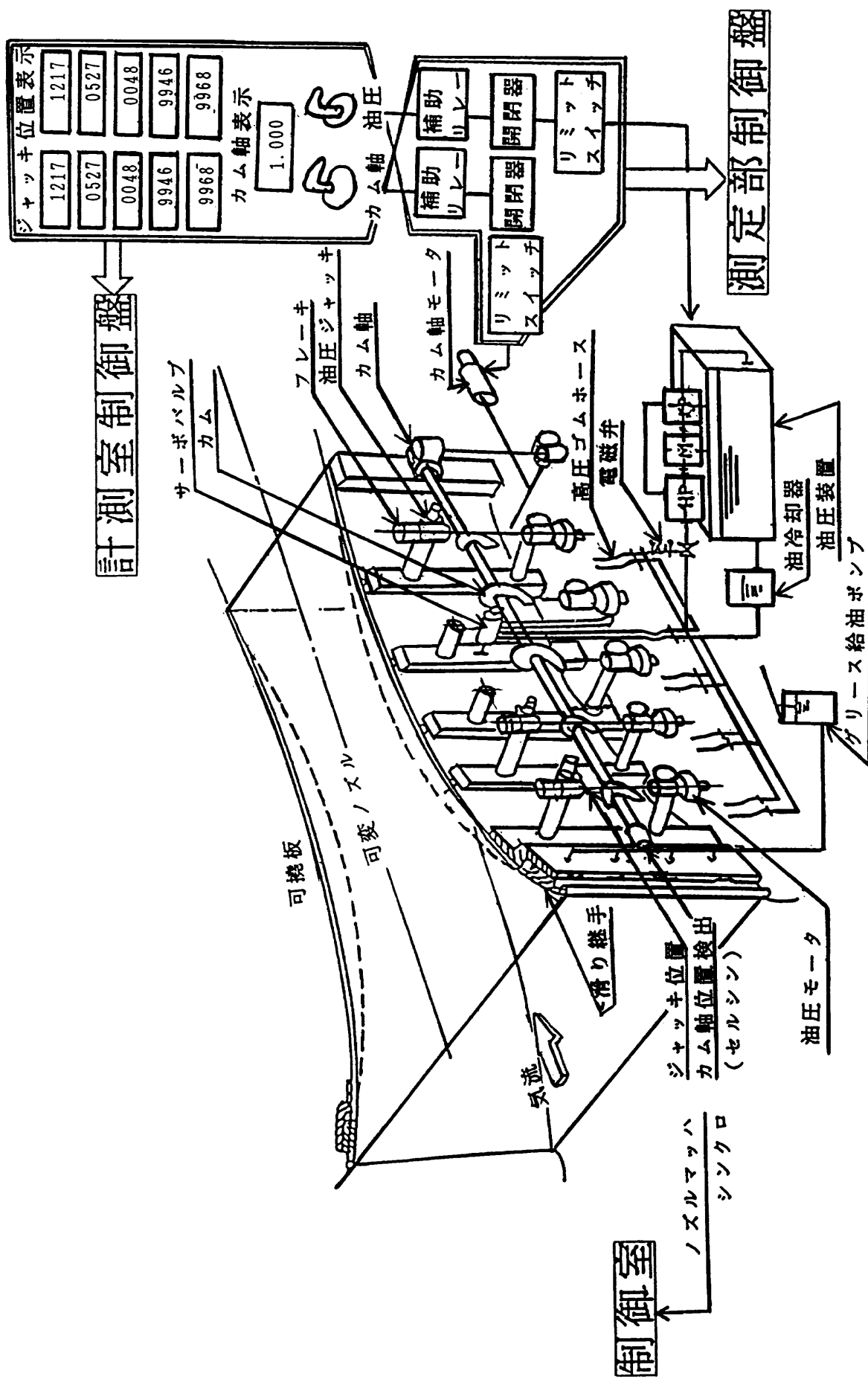


図8 可変ノズル制御系統図 (改修前)

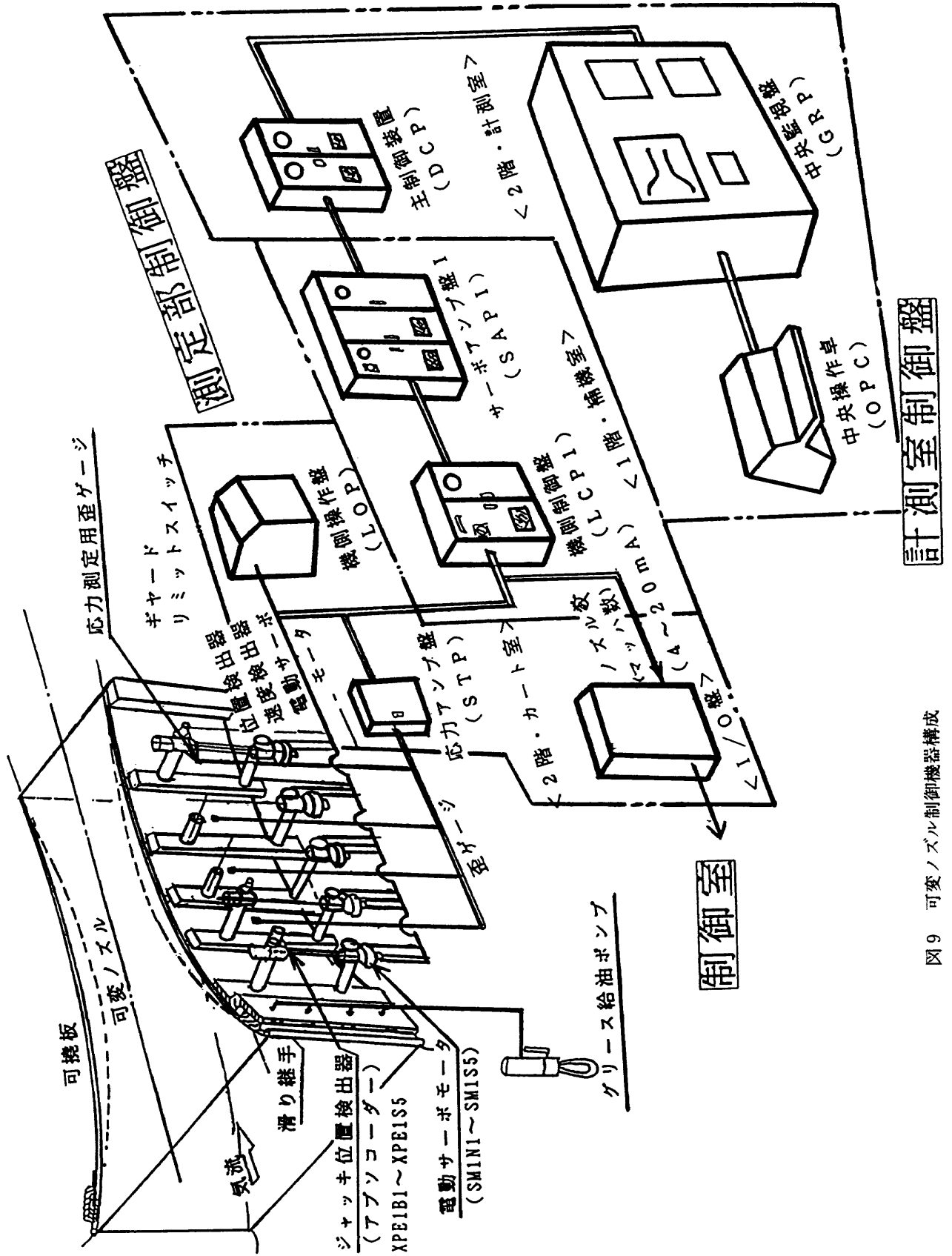


図9 可変ノズル制御機器構成

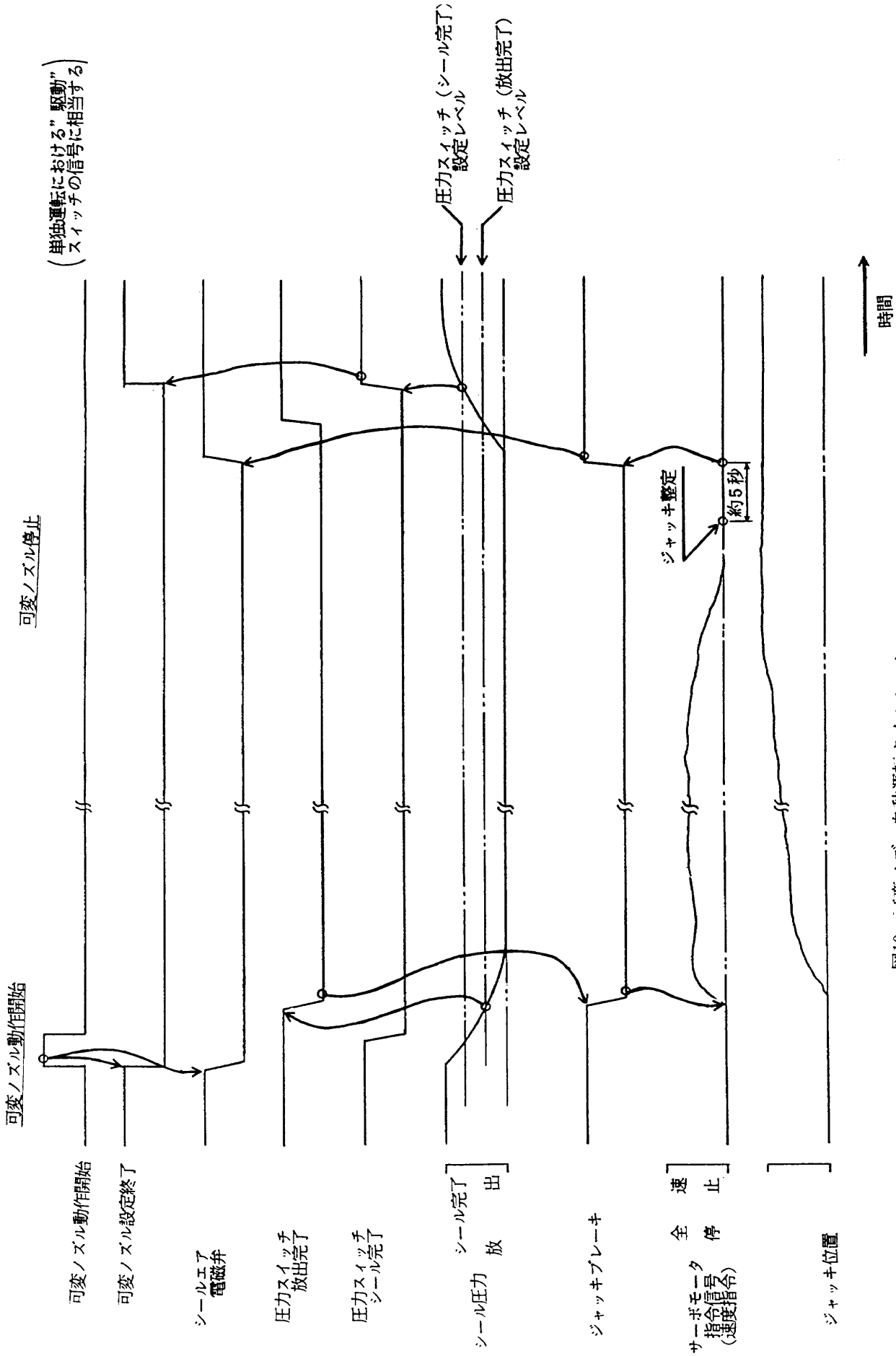


図10 可変ノズル自動運転タイムシーケンス

測定部マッハ数増加の場合

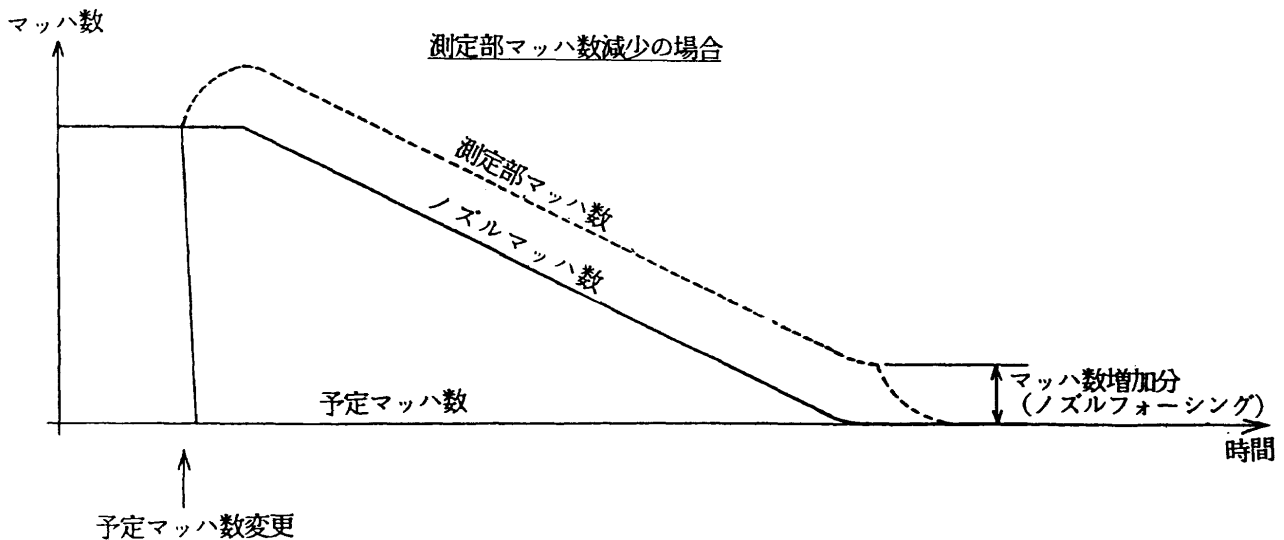
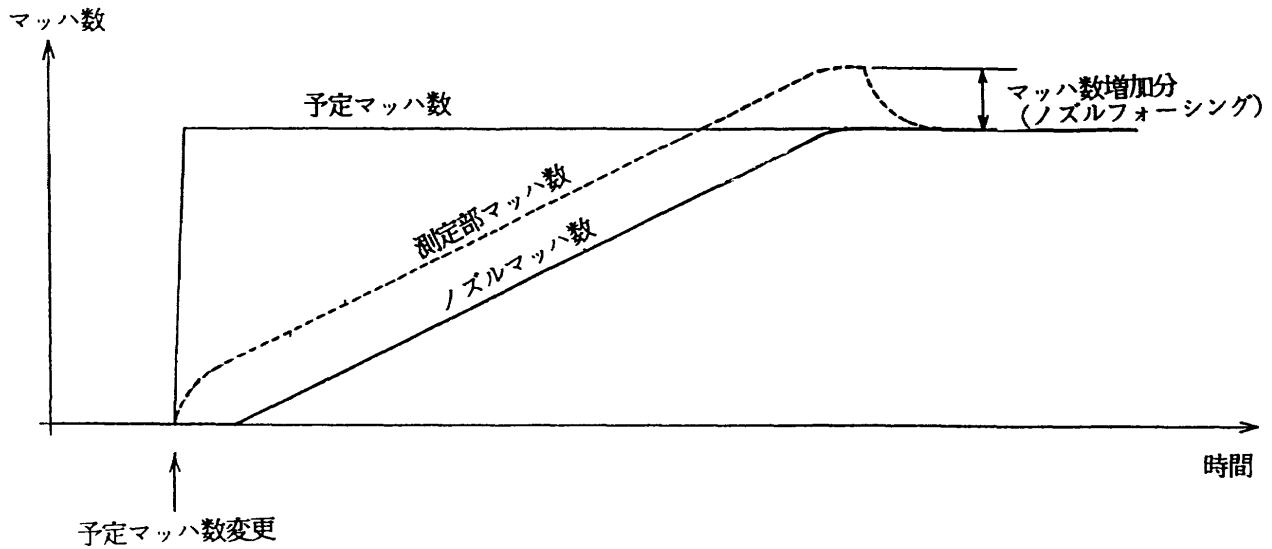


図11 マッハ数変更の自動操作タイムチャート

- づつ取付ける。
- (5) 滑り継手部のグリースの滞留をなくすため、配管長が短くなるようにグリース溝の給排脂ラインを改修する。
 - (6) エア洩れの頻発する空気注入口部は、エアシール交換時にエア洩れのないように改修する。
 - (7) 従来のノズル曲線の形状変更時間は、マッハ数1.0から1.4までの間で約3分であったが、この時間が約1分になるように変更時間の短縮を図る。
 - (8) 改修後のノズル曲線の制御は、主制御装置のコンソールからのキーボード操作と機側からの操作の両方から操作出来るように改修する。
 - (9) 可撓板の反気流面側は、損傷していないことを確認するため、全面カラーチェックを行う。

(10) 現状のノズル形状に設定した時の可撓板の寸法座標計測を行い、復旧後はこのデータを基準にして形状設定の調整を行う。

(11) 風路内は全面塗装し、それ以外の部分は必要に応じて補修塗装する。

改修作業により従来と大きく変わった点は、形状設定用のジャッキの駆動を油圧でなく電動モータによるものとし、駆動制御はカムと油圧サーボによる機械方式から、ジャッキ位置検出機構とコンピュータ内のジャッキ位置設定プログラムとによるデジタル制御方式に変更し、中央操作卓及び機側操作盤の両方から操作出来るようにしたことである。図9に改修後の制御機器構成を示す。

図8と比較すると、従来の機械制御方式から、電気制御方式に変わったことが明らかである。その他、今回の改

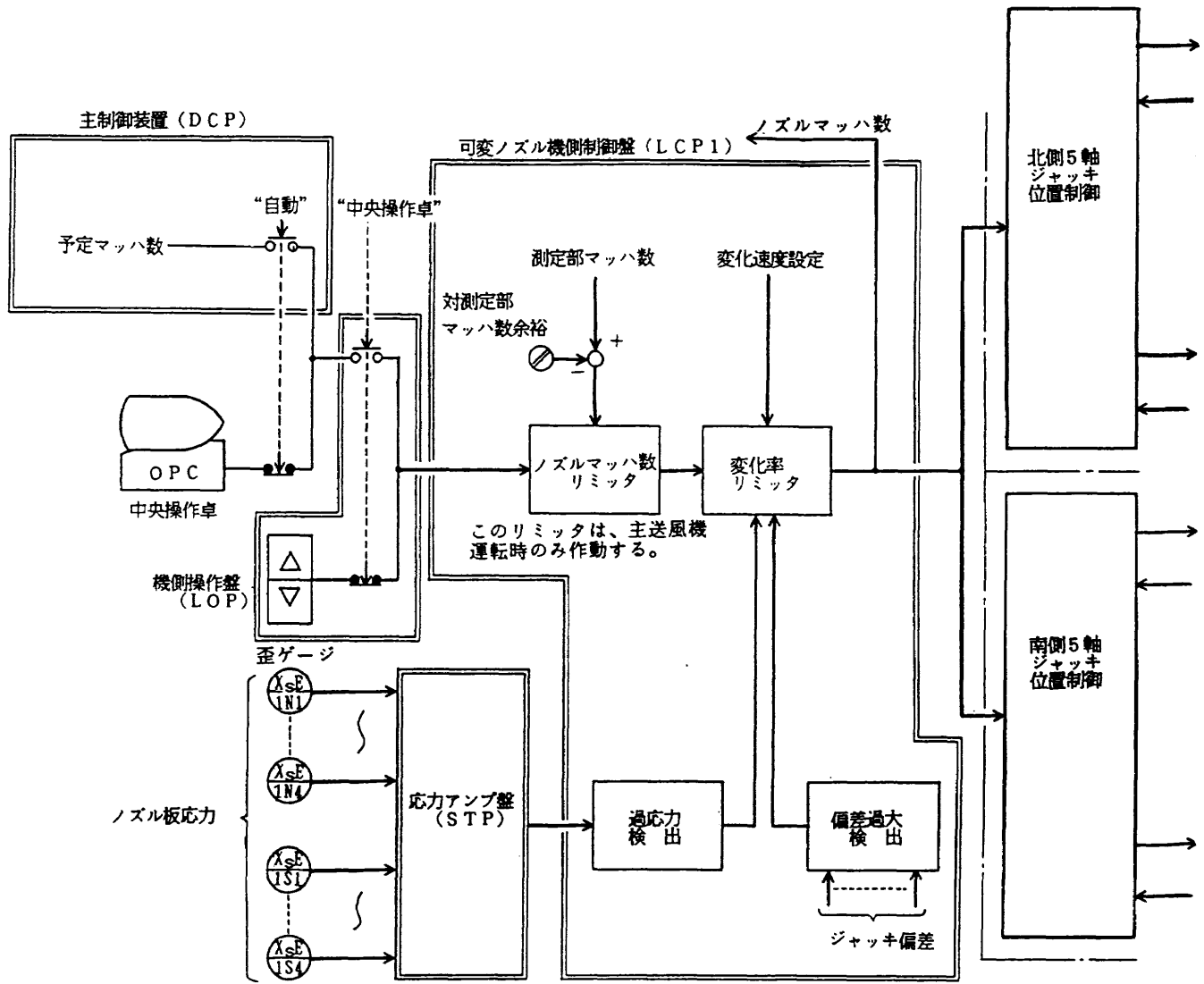


図12 ジャッキ制御ブロック図 (1)

修により変更されたノズル制御操作の主な項目は次の通りである。

- (1)ノズル操作は、カート室機側操作盤と計測室中央操作卓の両方から出来て、可変ノズルに近い機側操作盤が優先し、スイッチ操作で切替えることにした。
- (2)可変ノズルの操作は、ノズルマッハ数設定値を与え、増減スイッチの「駆動」と「停止」のスイッチを押して操作する単独操作による方法と、風洞運転設定スケジュール内の予定マッハ数に設定値を与えて「半自動」を押して、「次へ」又は「戻す」のスイッチを押して動作させる自動操作の2種類の方法とした。

この操作のタイムシーケンスを図10に示す。動作開始指令を受けてから可撓板の上下のシールゴムのシール空気を放出し、ジャッキブレーキを外してサーボモータがジャッキを駆動し、設定マッハ数に達したら、この逆の操作によりブレーキを掛けてから、シール空気を充填しジャッキ位置を固定するこ

とにした。

- (3)各ジャッキは、予め設定してあるノズルマッハ数に対応した位置に対して、微調動作させるトリム操作を±10mmの範囲で一律に動くようにした。
- (4)ジャッキ動作は、従来通り南北各5軸が同時に動作を行うようにした。
- (5)通風中の動作状態は、図11に示すようにノズルマッハ数が測定部マッハ数を上回らないように、測定部マッハ数よりも低い値で動作出来るようにした。
- (6)ジャッキ移動速度は、図12に示すように変化率リミッタを設けて、ノズルマッハ数目標値の変化時間が、ノズル可撓板の応力過大又はジャッキ偏差過大にならない範囲内で、10ステップの変更が出来るようにした。
- (7)ジャッキ位置プログラムは、図13に示すように変化率リミッタから出力されるノズルマッハ数目標値に応じた、南北合計10台の各ジャッキ位置を個別に演

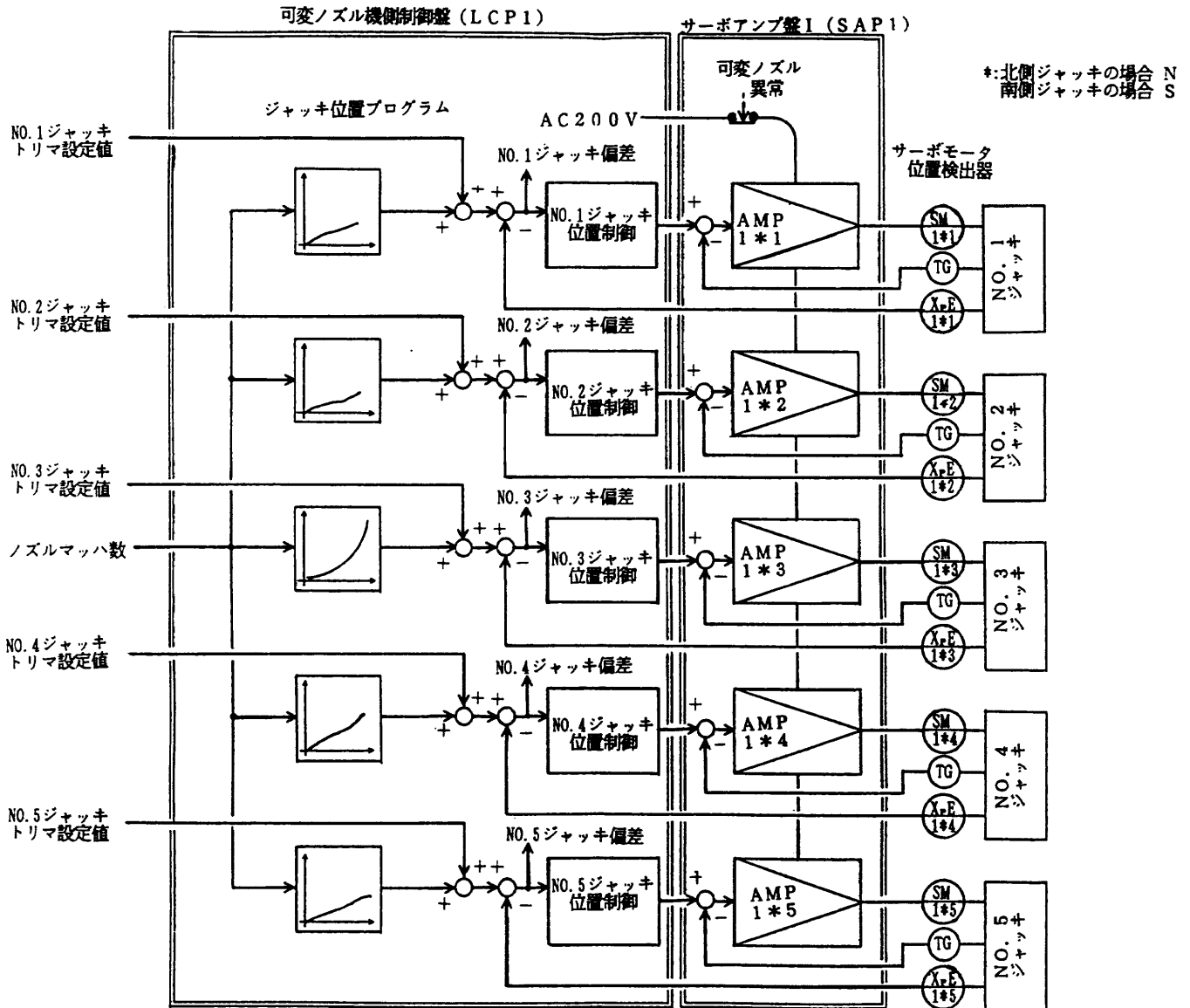


図13 ジャッキ制御ブロック図 (2)

算して動作する方式とした。

- (8)ノズル可撓板の応力を南北各4箇所に取付けた歪ゲージで計測し、過応力動作表示を行い、異常出力時に駆動操作を中止するようにした。
- (9)各ジャッキ毎にジャッキ偏差を計測し、そのレベルに応じて偏差過大警報を出し、駆動操作を中止するようにした。
- (10)各ジャッキの位置決め精度は、目標値に対して±0.05mm以内とした。ジャッキ位置の整定判定は、目標値の±0.04mm以内で行い、ノズルマッハ数整定後、10~20秒程度で整定するようにした。
- (11)ノズル応力は、応力計測点のうち対象とするものを中央監視盤内のスイッチの切換えにより選択し、それを中央操作卓で監視することにした。
- (12)その他、ノズル制御系を構成する機器の保護のため、8項目の異常に対して、保安シーケンス動作を行う

ようにした。

- (13)計測室での可変ノズル制御と、制御室での主送風機によるマッハ数制御の関係は、双方で決めるマッハ数増減のシーケンスに従って動作を行うようにした。それを以下に説明する。

実際の風洞試験では、可変ノズル操作は制御室の主送風機、補助送風機の制御と関係をとって行っている。このため、ノズル及び第2スロートの制御を含めて、マッハ数制御を行う具体的な方法について検討が行われ、図14に示すマッハ数制御のシーケンスに従って制御することになった。即ち、マッハ数1.0以上の試験の場合、はじめに主送風機回転数又は補助送風機抽気量の制御を行って、測定部マッハ数を所定のマッハ数側に少し上昇させておく。次にノズル制御を行い、所定のマッハ数までノズル形状(ノズルマッハ数)を上昇させていく。この場合、測定部のマッハ数は常にそれよりも上に行くように

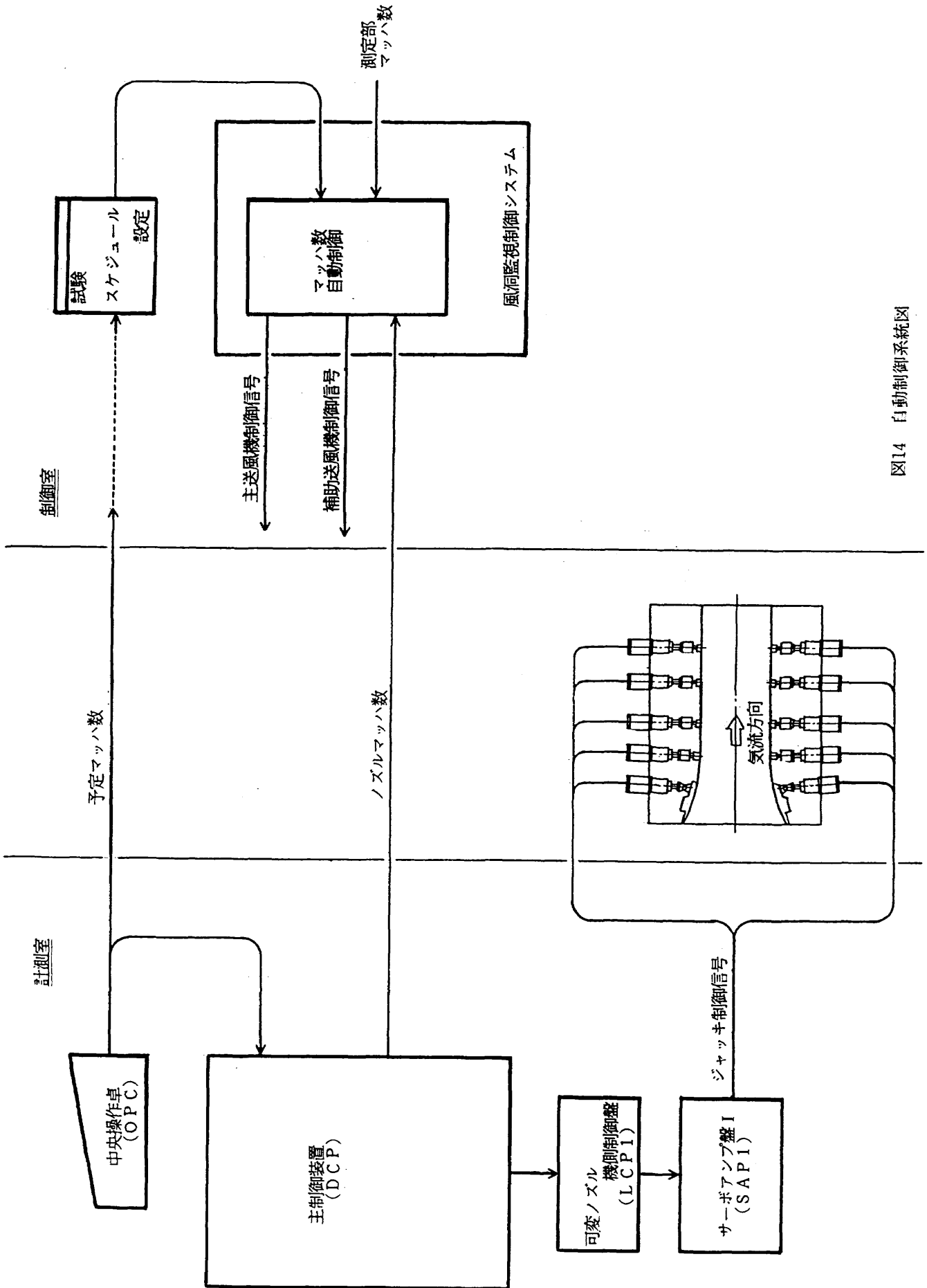


図14 自動制御系統図

表4 第2スロート及び可変ノズル設定位置

設定マッハ数	半載模型用カート第2スロート寸法	全機模型用カート第2スロート寸法	カート上流側可変ノズル寸法
1.00	2.037	2.137	1.989
1.05	2.035	2.135	
1.10	2.032	2.132	1.968
1.15	2.028	2.128	
1.20	2.023	2.123	1.923
1.25	2.014	2.114	
1.30	2.004	2.104	1.857
1.35	1.994	2.094	
1.40	1.994	2.094	1.776

制御していく方法をとることにした。何故なら、測定部マッハ数がノズルマッハ数よりも低い場合には、風洞内の衝撃波が不安定になり、異常振動を起こして風洞全体を振動させる可能性が考えられるからである。測定部マッハ数とノズルマッハ数との差は、対測定部マッハ数余裕として0~0.02の範囲で任意に設定する。ノズルマッハ数が所定の位置に達したら、ノズル可撓板のシールを施し、カート後部の第2スロート及びデイフューザーフラップを表4に示す位置に設定して、測定部気流の安定化を図るようにしている。尚、第2スロートとデイフューザーフラップは、全機模型用カートの場合、半載模型用カートよりも模型支持装置の体積分だけ広くするように設定値を与えている。

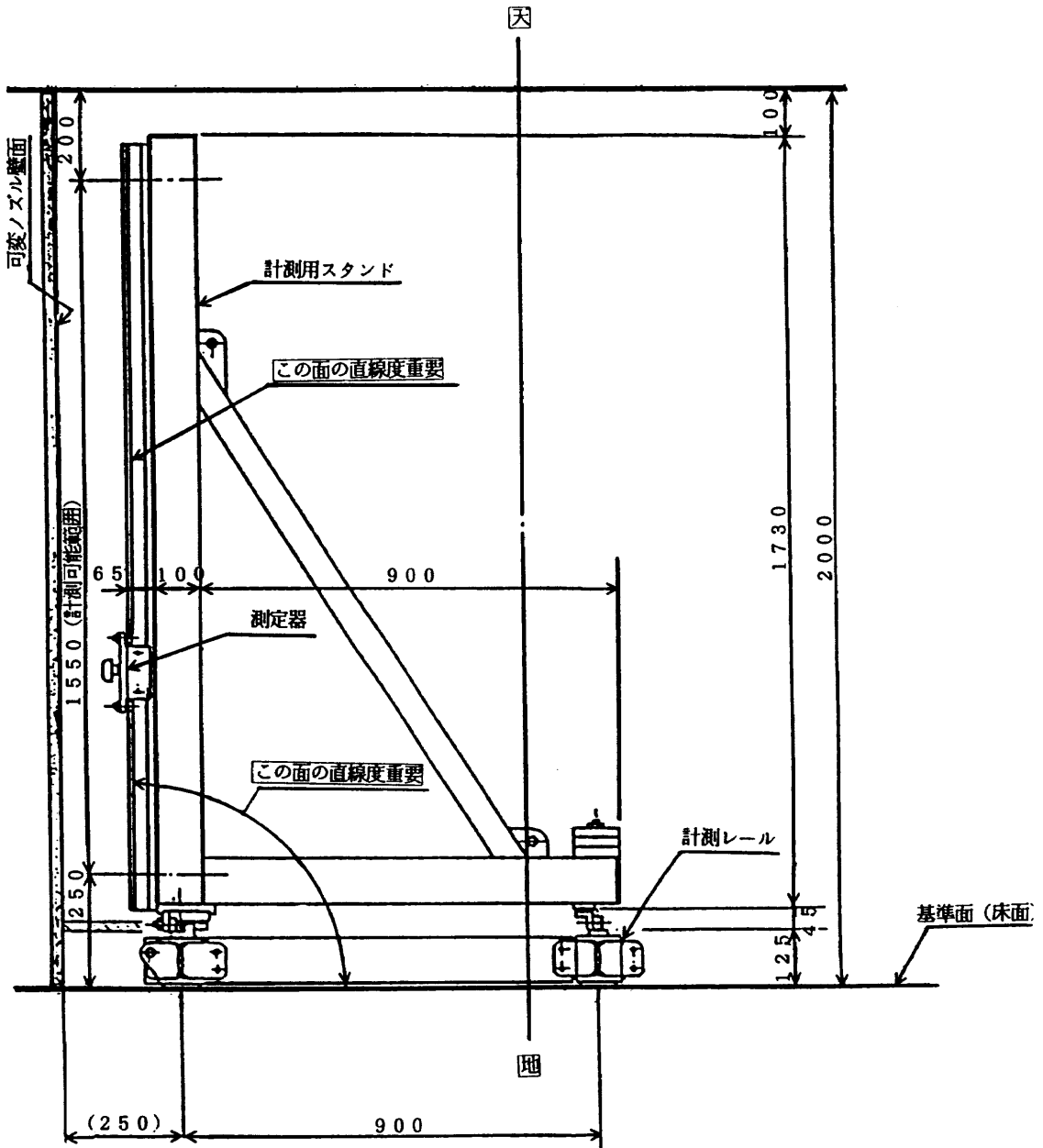


図15 ノズル形状計測治具

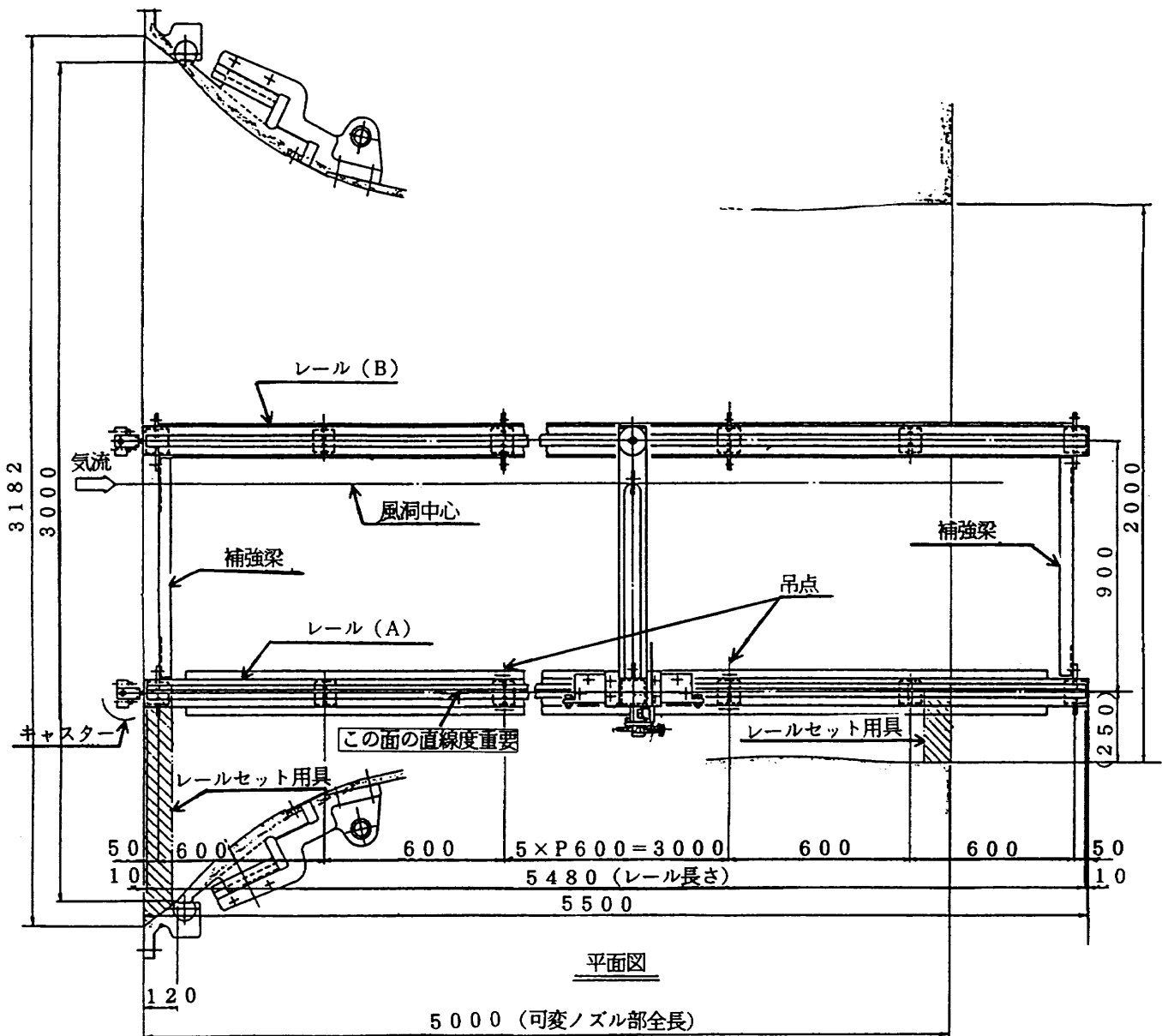


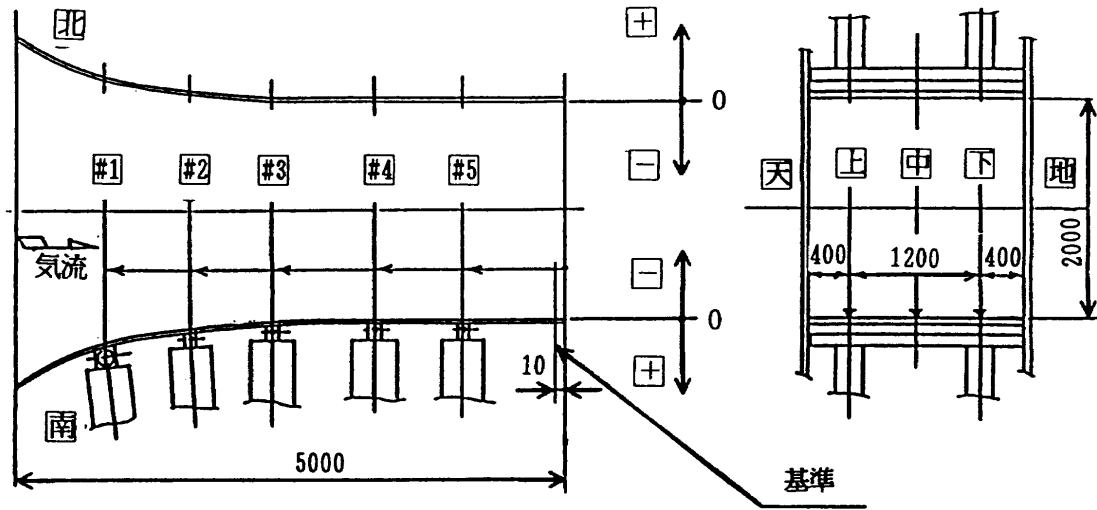
図16 計測範囲

試験マッハ数を下げる場合には、この逆の操作を行うことにした。即ち、第2スロートとデイフューザーフラップを所定の形状に設定したのち、ノズルマッハ数を下降させ、それにつれて測定部マッハ数を下降させる。

尚、第2スロート部分の形状は、マッハ数1.0以下では、壁から抽気出来るように、デイフューザーフラップ部分を開けておき、マッハ数1.0以上の試験の場合には全閉にして所定のスロート形状に設定するようにしている。こうした方が、省電力運転になることが知られている⁸⁾⁹⁾。以上の操作は、風洞試験中の一般的な操作方法であるが、個々の装置毎の駆動操作も出来るようになって

可変ノズルは、設定マッハ数に対応して、表2に示す形状に設定する。この形状を計測して確認するため図15に示すノズル形状計測治具を製作し、改修前と改修後に計測して、実際のノズル内部形状を確かめた。この計測治具を図16に示すように片側の壁毎に2本のレール上にセットして、ノズル出口端より10mm入った位置を基準点として、このレール上を滑らせて寸法計測を行った。この治具には、図17に示すデジタルデプスゲージを取付けて計測した。改修後の計測結果を表5に示す。北壁と南壁の上中下の3断面について基準値との差で結果を表している。何れのマッハ数についても差がほぼ1mm以下であり、良い設定となっている。

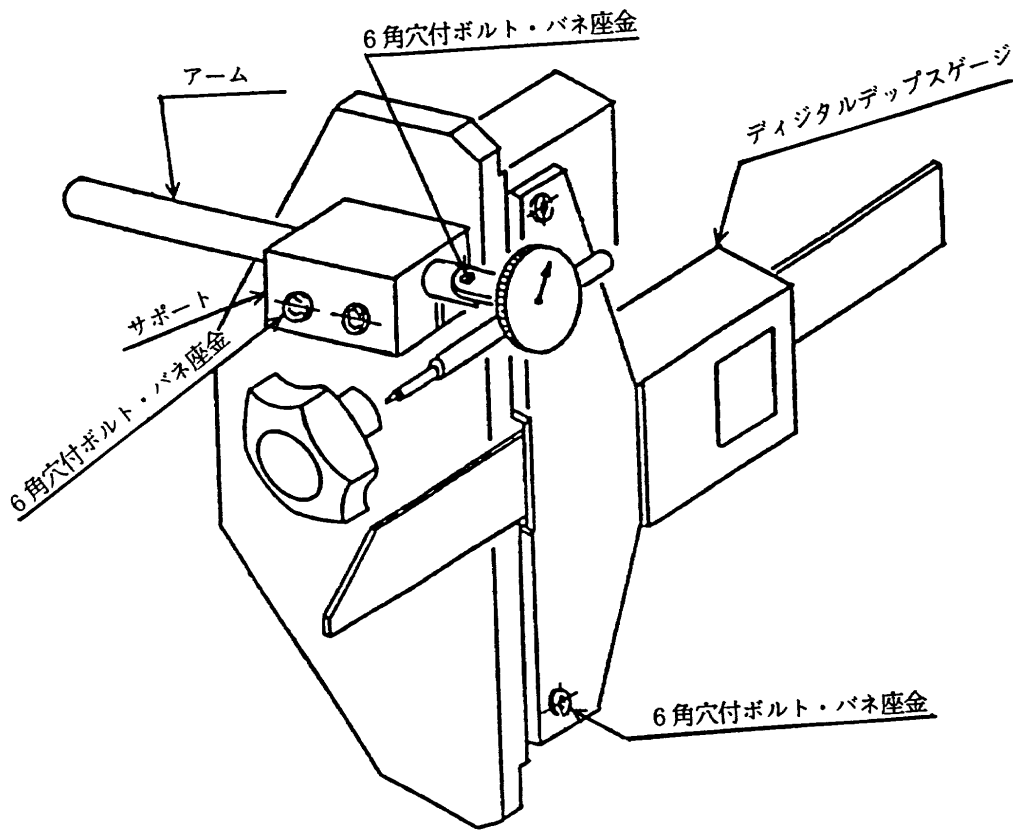
表5 可変ノズル形状測定結果



TR-25との差を示す(再改訂) 単位: mm

		南 壁				
		M=1.0	M=1.1	M=1.2	M=1.3	M=1.4
上	基準	0	-	-	-	-
	#5	-0.26	-0.50	-0.49	-0.60	-0.64
	#4	-0.11	+0.18	-0.13	-0.16	-0.37
	#3	-0.26	-1.12	-0.15	-0.10	+0.56
	#2	-0.20	+0.12	-0.03	+0.26	-0.56
	#1	-0.28	-0.64	-0.60	-1.21	-1.18
	スロート	-	-0.25	-0.16	-0.01	+0.60
	中	基準	0	-	-	-
#5		-0.12	-0.30	-0.28	-0.42	-0.47
#4		-0.08	+0.35	-0.10	-0.15	-0.43
#3		-0.07	-0.89	+0.05	+0.11	+0.84
#2		-0.03	+0.46	+0.25	+0.58	-0.33
#1		-0.07	-0.47	-0.41	-1.19	-1.10
スロート		-	-0.01	+0.06	+0.24	+0.90
下		基準	0	-	-	-
	#5	0	-0.08	-0.05	-0.15	-0.20
	#4	0	+0.62	+0.04	+0.01	-0.22
	#3	-0.02	-0.68	+0.07	+0.12	+0.70
	#2	-0.03	+0.52	+0.36	+0.63	-0.16
	#1	-0.02	-0.34	-0.31	-0.92	-0.88
	スロート	-	+0.02	-0.12	+0.15	+0.65

		北 壁				
		M=1.0	M=1.1	M=1.2	M=1.3	M=1.4
上	基準	0	-	-	-	-
	#5	+0.06	-0.13	-0.12	-0.27	-0.30
	#4	+0.08	+0.27	+0.03	-0.05	-0.34
	#3	+0.02	-1.07	+0.09	+0.13	+0.69
	#2	+0.15	+0.40	+0.16	+0.38	-0.32
	#1	+0.01	-0.28	-0.22	-0.96	-0.90
	スロート	-	-0.20	+0.05	+0.17	+0.65
	中	基準	0	-	-	-
#5		+0.03	-0.15	-0.16	-0.37	-0.41
#4		+0.07	+0.27	+0.02	-0.10	-0.44
#3		+0.08	-0.76	+0.27	+0.25	+0.95
#2		+0.09	+0.45	+0.19	+0.46	-0.31
#1		+0.30	-0.01	+0.11	-0.68	-0.66
スロート		-	+0.10	+0.35	+0.35	+1.08
下		基準	0	-	-	-
	#5	-0.02	-0.11	-0.12	-0.25	-0.29
	#4	+0.02	+0.26	-0.02	-0.09	-0.40
	#3	0	-0.46	+0.09	+0.13	+0.71
	#2	0	+0.29	+0.07	+0.26	-0.40
	#1	-0.05	-0.26	-0.17	-0.90	-0.85
	スロート	-	+0.09	+0.12	+0.23	+0.74



側面図

図17 計測部詳細 (ゲージ取付部)

この結果から、今回の改修作業で動作方式を変更して操作性を向上させたことによる問題は生じておらず、改修作業による有効性が確認されたものと考えられる。

4.4 測定部

遷音速風洞には、測定部カートが3台あり、風洞試験の目的に応じて、随時交換して使用している。従って、各カートには自分自身を移動するための移動用電動機を持っており、更に試験に応じて左右壁開き角を調節するための駆動用電動機、模型後部の流れを滑らかに減速するための第2スロート駆動用電動機、高亜音速領域でマッハ数を制御するためのデイフューザーフラップ駆動用電動機及びこれらの位置を検出するためのセンサー類が取付けてある。これらの機器は、測定部内に望ましい性質の気流を作り出すための測定部壁形状を調整する機構であり、カート1台につき全部で12基の電動ジャッキを持ち、それぞれの機構を駆動する。これらの駆動部分は老朽化が著しく、摩耗に起因する振動や、位置検出器及び制御用センサーの作動不良などの不具合を度々起こすようになってきた。

改修前に実施した事前調査では、これらの壁駆動機構のジャッキ、減速機部からの著しいグリースのしみだし、カート移動用車輪、駆動電動機の劣化、カート移動用レール部のターンテーブルストッパーの破損などが不具合箇所として指摘された。このため、電動機を含めた全機構のオーバーホールを行い、省力化を図ることを重点にして、3台のカート全ての分解、点検、清掃を行い不具合箇所を補修することにした。但し、カート毎に機能が異なるところもあるので、改修箇所もそれに応じて変えている。時期的には、第1カートと第2カートはほぼ並行して作業したが、第3カートはその後で全く別に作業を行った。この作業の中で、特徴的な事柄についてカート毎に分けて記述する。

4.4.1 全機模型用カート (第1カート)

第1カートは、図18に示す形状であり、主に全機構型を取付けて試験するので、最も使用頻度が高い。そのほか、二次元翼模型や部分模型の試験にも用いられるなど、広範囲に使用されているカートである。上下左右の壁には、マッハ数制御用に抽気するため直径12mmの穴が、壁

模型支持装置詳細

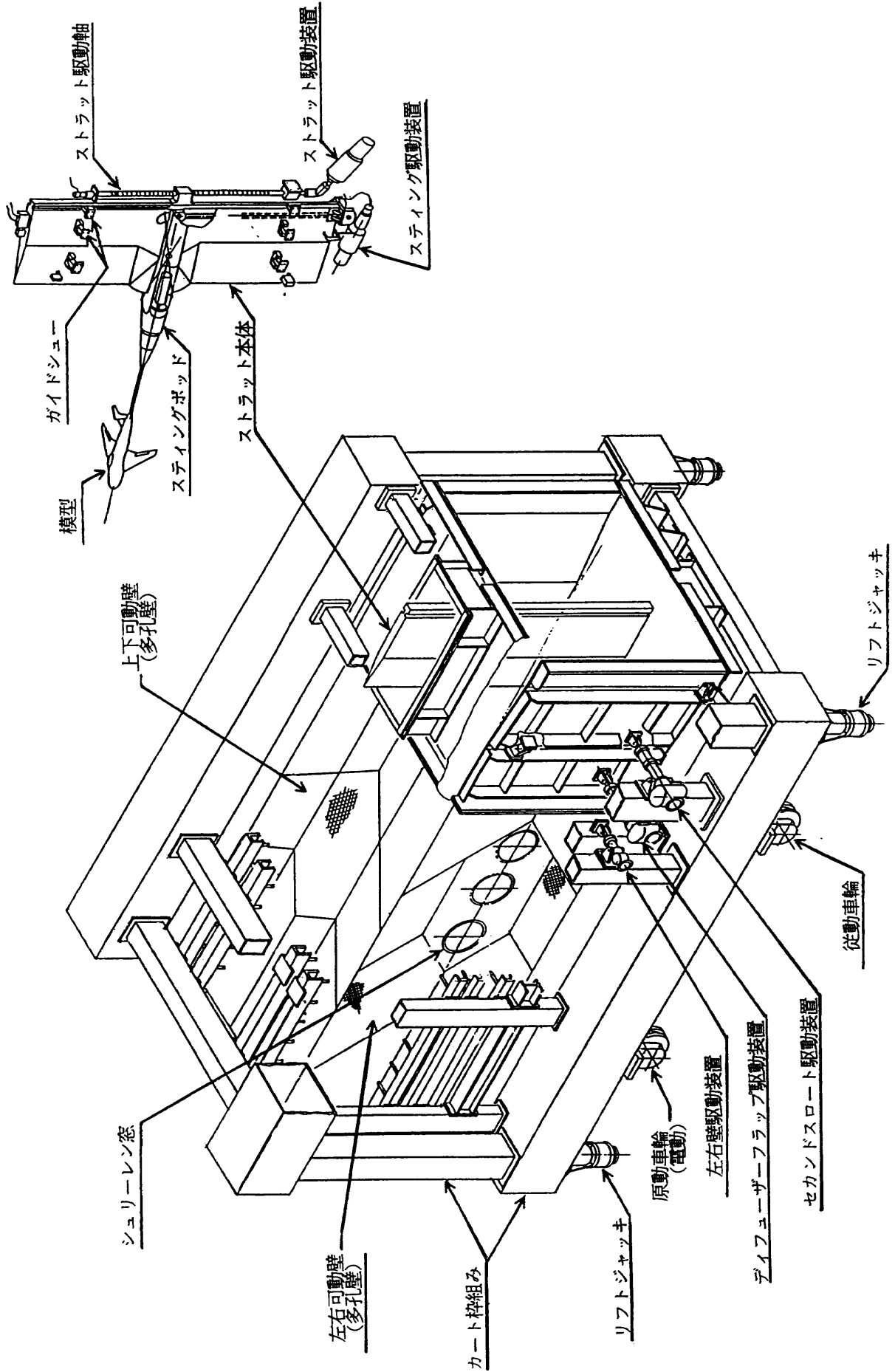


図18 全機模型用カート

全体の20%に相当する分だけ壁面に垂直に開けてある。その外側には、2重に板を取付けてあり、これをスライドさせて開口比を20%から0%まで変えられる機構になっている。この機構の駆動電動機、制御用センサー軸等が摩耗により誤動作することがしばしば起こり、不具合を生じていたので、この部分も分解、補修することにした。

模型を支持するための機構は、測定部内で模型を支持し、かつ模型の姿勢設定を行うもので、図18に示すようにストラットとスティングポッドの2つの部材から構成されている。ストラットは、垂直に立った自重が約20kNの鋼材の厚板で、後端がナットを介して、カートに垂直に取付けられたボールネジにより支持されている。ボールネジは、ナット部分のみでストラットを支えている。スティングポッドは、このストラットの中央部に取付けた錐状の鋼材で、風洞試験の時には上流側の先端部に支持棒（スティング）を介して天秤を取付け、その天秤に模型を取付ける。模型の姿勢を変更するため、スティングポッドはストラットにピン止めしてあり、このピンを中心にストラット面内で回転（ピッチング回転）すると共に先端部がスティングポッド錐体の軸回りに回転（ローリング回転）する。模型の上下位置の変更は、ストラット後部のボールネジを回転させて、ストラットを上下移動（高さ移動）させる。

この模型支持装置に対する要求性能は、模型に働く空気力を支えること、模型姿勢角の設定を精密に行う（通常0.1°の角度設定精度を要求される）こと、1日の風洞試験では500回前後の姿勢変更を行うこと、一つの姿勢に設定したら、データを取る間は模型は少しでも動いてはならないことなどであった。

これらの要求を満たすため、回転部及び摺動部は大荷重への耐力と高精度を維持するため、精密構造に作られていたが、30年にわたる使用により全体にガタが増して、試験中にしばしば模型が異常振動を起こし、試験中断することが頻発するようになった。そのまま使用するの危険であり、3度目の模型落下事故になる恐れがあったので、模型支持装置全体の分解、点検、補修及び再整備を行うことにした。

全機カートの模型支持装置は、これまで2度の重大なストラットの落下事故を起こしていた。

1回目は、1970年の5月に全機形態の模型を試験している時に起こり、この時の事故原因は、ストラットをその支持体である角ネジのネジ部に結合しているナットネジ部が破損したことであった。このナットは、直径38mmφの角ネジであったが、繰返し使用されたことによってネジ部分が摩耗して、ストラットの重量を支えきれなくなった。この時に試験していた模型は、ロール角を

90°近くまで変角していたので、主翼がカート床に激突し、模型胴体、主翼、天秤及びスティングがばらばらに破壊して、第1屈曲部まで飛散したため、カート床から屈曲部まで風洞内のあちこちに傷を残した。しかし、幸いなことに大きな金物類は屈曲部に引っ掛けて止り、そこを過ぎた小物類は主送風機直前に張ってある保護用金網で止ったので、それ以上の被害を風洞機器に及ぼすことはなかった。事故原因が判明した後、同年12月に支持体のスクリーンネジを角ネジから直径50mmφのボールネジに交換する処置を施した。一方、スティングポッド駆動用のネジも、当初から角ネジを使用していたが、当時、使用され始めたボールネジに着目して、この事故の2年前に直径57mmφの角ネジから、直径50mmφのボールネジに交換してあったので、こちらには異常がなかった。その後、ストラット用とスティングポッド駆動用のモーターも更新して使用していた。

2年後には、ストラット重量17kN、スティングポッド3.4kNの重量が掛かるストラット押さえ用のシューと、大きな曲げモーメントが働くボールネジの負担を軽くするために、6kNの荷重を支える空圧支持装置をストラットの下に設置した。これは、既説の700kPaの風洞シール空気を供給して、200kPaに調圧してタンクに貯蔵し、このタンクから空圧ピストンを動かして、そのロッドの先端をストラット下部に接続して下から支える形式のものであった。

こうした処置をしたにも拘らず、2回目の事故は、それから9年後の1979年1月に起こった。この時試験していたのは小型ロケット模型で、特別なスティングを使って大迎角試験の最中に事故が起きた。ストラット落下の原因は、ストラットのボールネジ取付部分を固定している直径12mmφのネジ6本が剪断方向の力を受けて疲労し、その後、破断したものである。事故後の処置は、直径12mmφのネジ6本で固定するほか、ナットの取付部分に厚さ9mm、長さ250mm、幅125mmの補強板を両側に取付け、直径8mmφのネジ2本ずつで固定することにした。これ以後、今回の改修までこの形態で、振動や摩耗などに十分留意して慎重に取扱ってきた。

今回の改修作業では、これまでの経験を生かし模型支持装置に関して次に示す改修目標を考え、それを実現するための方法を検討し、それに基づいて部品の選定、設計図面等の作成を行った。

- (1)模型姿勢制御を従来の押しボタンによる手動設定から、風洞主制御装置と結合した自動制御方式にして、風洞試験の効率化を計る。
- (2)永年使用しても、機械系にガタ及び異常振動が生じない構造とする。
- (3)迎角設定範囲は、従来の-15°～+18°から可能な限

表 6 模型支持装置・設計荷重

模型支持装置の剛性・強度

	静的	動的
揚力	30,000N	10,000N
横力	15,000N	10,000N
抗力	3,750N	3,750N
回転モーメント	1,500Nm	1,500Nm

模型変角量及び時間

		変角量	時間
迎角	ステイング迎角	±20°	20°/秒
	曲りステイング角	±30°	(手操作)
ロール角		±180°	180°/秒

姿勢設定精度及び検出精度

	設定精度	検出精度
ストラット位置	±0.05mm	±0.05mm
迎角	±0.01°	0.005°
ロール角	±0.1°	±0.02°

り拡大し、最大±30°を目標とする。

(4)ロール角の設定範囲は、従来の±90°から±180°に拡大する。

(5)ストラット、ステイングポッド駆動部は、上記姿勢角に耐えられる強度を有する構造にする。

(6)模型からの信号線を引出すため、模型支持装置内部の通線スペースを拡大する。

(7)姿勢設定値の検出精度を向上するため、より高精度な検出が可能な計器及び方式を用いる。

(8)模型支持装置（ストラット）の後流の剥離を押さえ、滑らかに気流が流れるようにする。

以上の検討を行う基準とした模型支持装置の必要強度及び変角速度等の要目を表6に示す。検討項目の中でも一番の難点は、迎角設定範囲を±30°まで拡大することであった。何故ならば、測定部床から天井までの高さが2mであること、変角後は常時模型中心を測定部中心の1m高さに設定しなければならないこと、カートは測定部

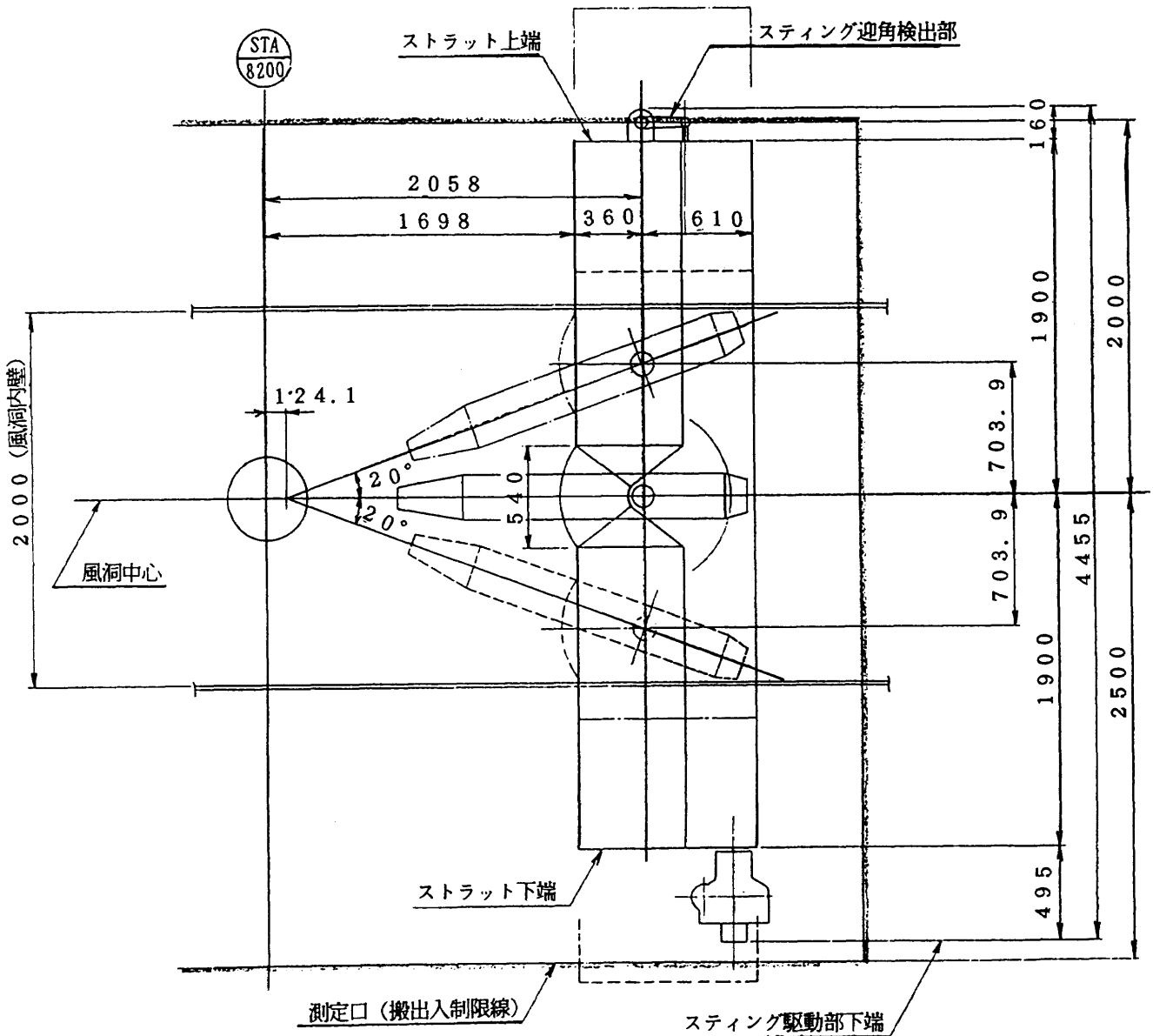


図19 模型支持装置基本設計（第1案）

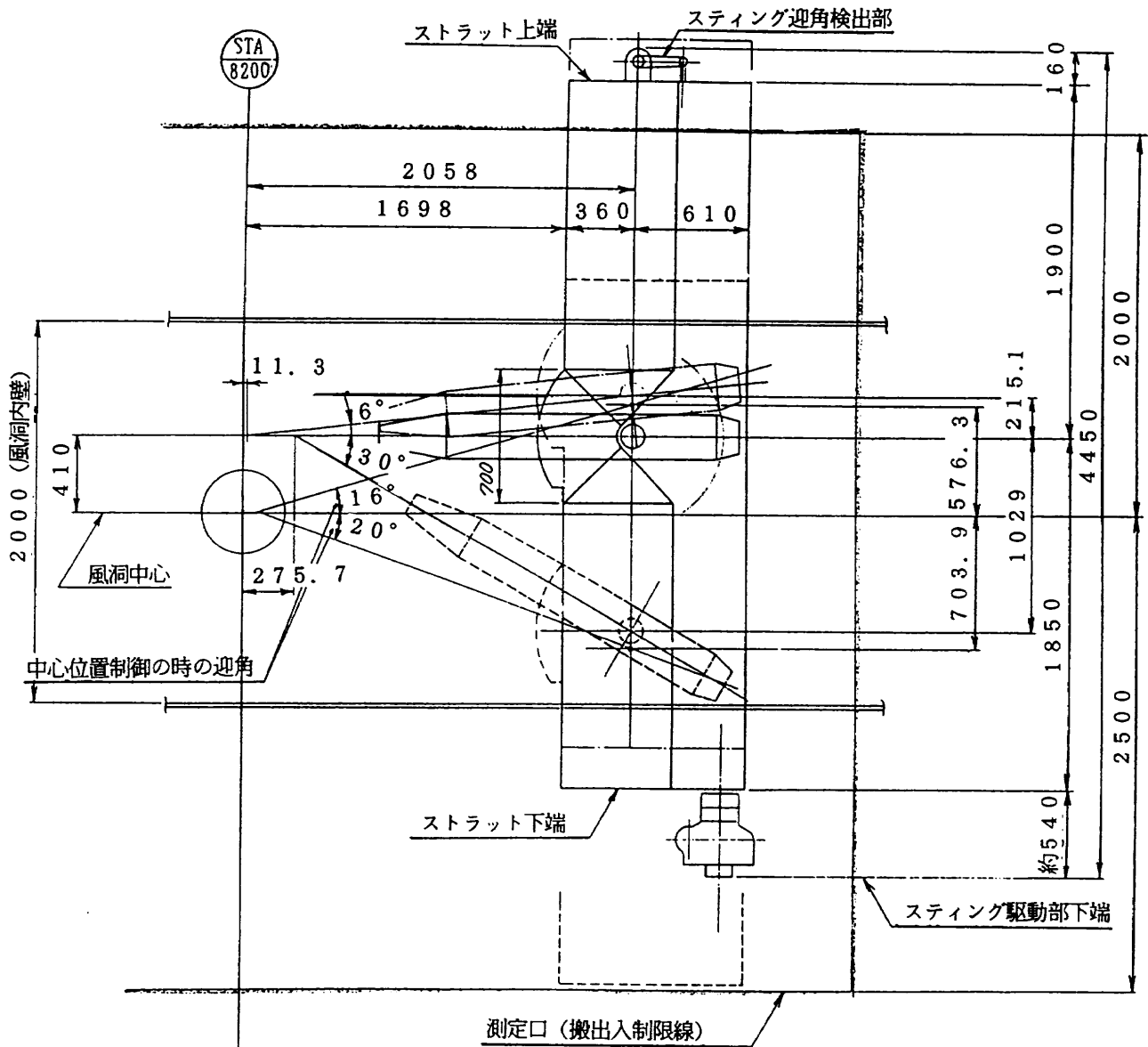


図20 模型支持装置基本設計 (第2案)

から外に移動するので測定部中心から2.5m以上の支持物は設置出来ないこと等の制限があり、これらを全て満足する答えは出てこなかった。それらの検討結果を図19から図23に示す。図19は中心位置を制御して迎角範囲が $\pm 20^\circ$ の場合、図20は中心位置制御して $-16^\circ \sim +20^\circ$ 、非制御で $-6^\circ \sim +30^\circ$ の場合、図21は中心制御なしで $-30^\circ \sim +30^\circ$ の場合である。同様に図22は $-40^\circ \sim +40^\circ$ の場合、図23はスティングポッド中間部にプリセットの曲り部分を付けた場合で、この方式では $+50^\circ$ までの迎角が可能である。何れの方式にも長所と短所があり、良い点を取入れたかったが、風洞側の寸法制約条件と模型を風洞中心に制御する条件の両方から、図24の概念図に示すような従来通りの方式を選択した。

これらの検討に先行して、通線スペース確保と後流乱れをなくすため、実際にストラット模型を作成して試験を行い、圧力測定を実施して比較、検討した¹⁰⁾ほか、最適な姿勢制御法の検討のため、サーボモータと制御系を用意して最適な姿勢制御法の研究も行った。

検討結果を参考にして、次の改修作業を実施した。

- (1) 模型支持装置全体の分解、点検及び清掃を行い、軸受、軸シール、ブレーキ部品及び回転保持部の老朽部品を交換し、駆動機構は電動サーボ方式に改修、位置検出器をアブソユーターを用いたデジタル式に改修し、カート上の駆動電力用と制御用の配線を更新した。
- (2) 迎角の設定精度は $\pm 0.01^\circ$ とし、検出精度は \pm

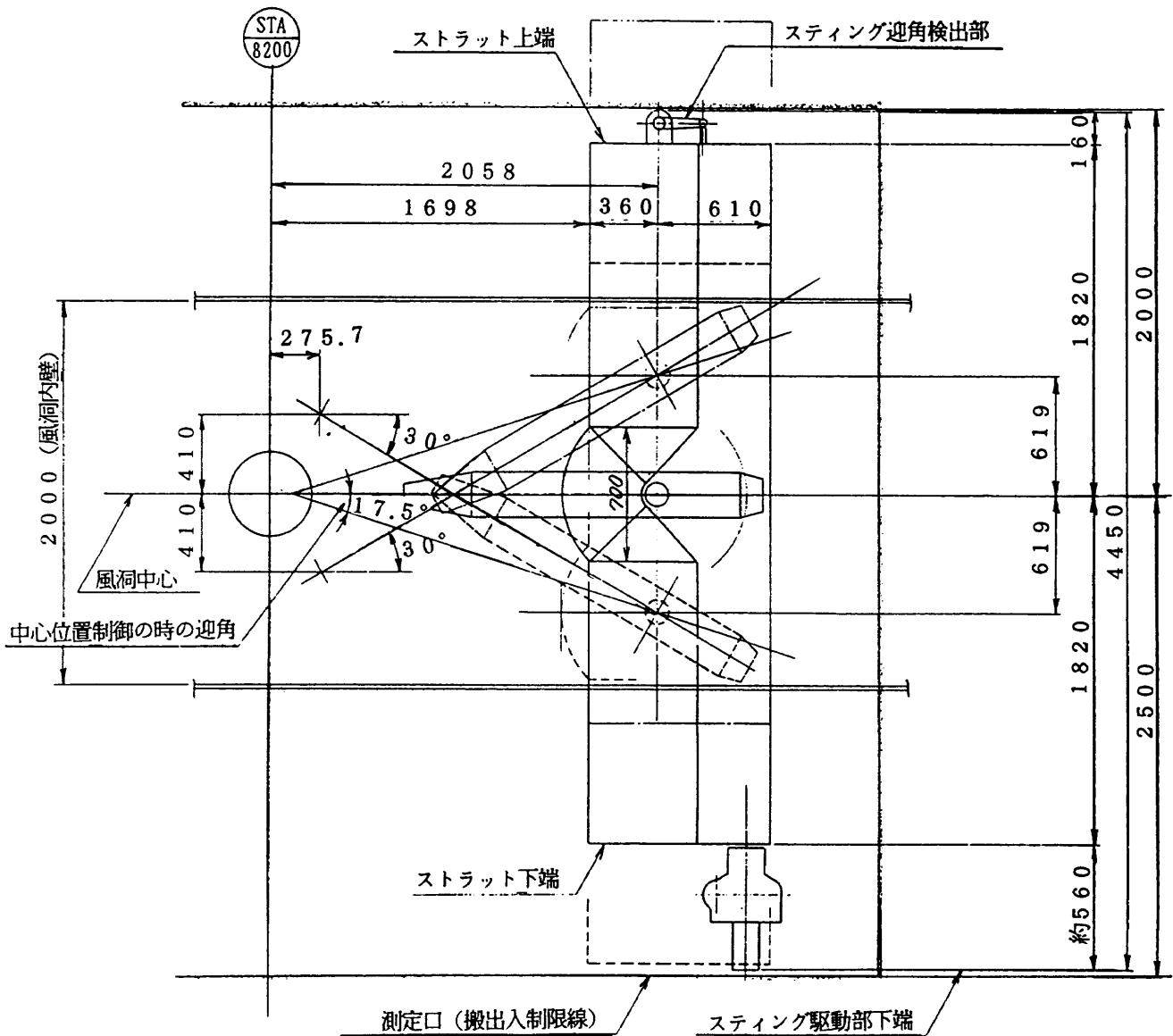


図21 模型支持装置基本設計 (第3案)

- 0.005°, 設定速度は0.6°/秒, 変角範囲は $-20^{\circ} \sim +23^{\circ}$ と最大設定迎角を増加した。
- (3) ロール角の設定精度は $\pm 0.1^{\circ}$ とし, 検出精度は $\pm 0.02^{\circ}$, 設定速度は2.3°/秒, 変角範囲は $\pm 180^{\circ}$ と最大設定ロール角を増加した。
- (4) ストラット位置の設定精度は $\pm 0.2\text{mm}$ とし, 検出精度は $\pm 0.05\text{mm}$, 設定速度は30mm/秒, 移動範囲は $\pm 640\text{mm}$ とした。
- (5) 模型支持装置の異常振動を防止するため, ストラットに横振れ支持装置を設置し, 加速度計による振動監視装置を設置した。このため, ストラット下に設置された空圧支持装置の空圧シリンダー等を撤去した。
- (6) 模型姿勢設定時の操作性, 模型位置設定精度及び検出精度を向上するため, 操作方法及び検出センサー

を更新した。

- (7) ストラット内通線スペースは, 従来通りで拡張出来なかったため, 配線を整理して必要線数を確保した。
- (8) 模型姿勢の操作は, 計測室の中央操作卓からの遠隔操作と模型支持装置近くでの操作を行うため, 制御用の機側制御盤及び手元操作箱を新設した。
- (9) 左右壁開き角, 第2スロート及びディフェューザーフラップの機構の分解, 点検及び清掃を行い, 軸受, 軸シール, ブレーキ部品, 回転保持部の老朽部品, 駆動機構及び位置検出器を交換し, カート上の駆動電力用と制御用の配線を更新した。
- (10) カート走行用の駆動装置を分解, 点検, 清掃し, 軸受, 軸シール, カップリング, リミットスイッチ, 減速機付き駆動電動機及びカート移動制御盤を更新

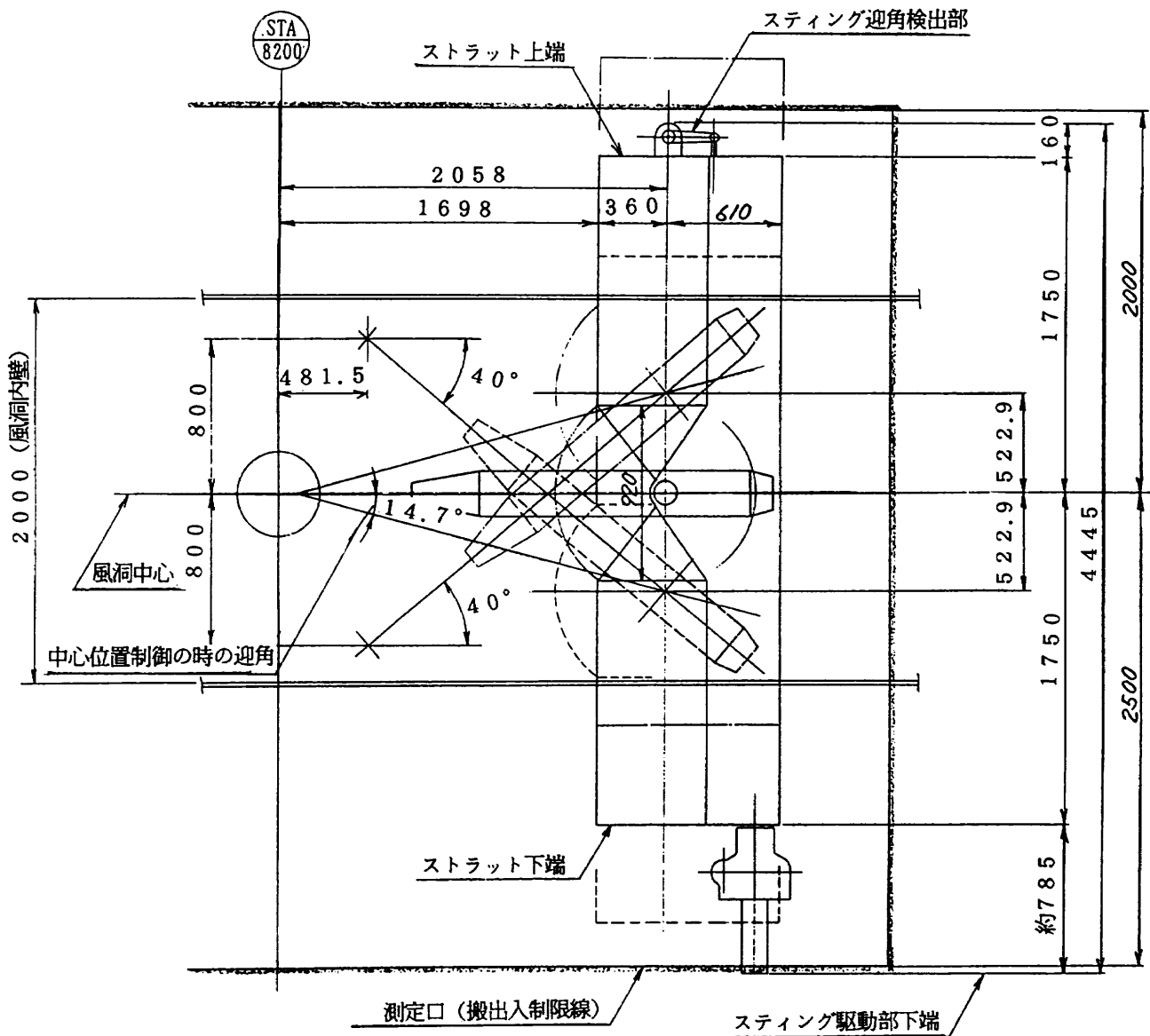


図22 模型支持装置基本設計 (第4案)

- し、カート内部照明及び映像信号の配線を新設した。
- (11) カート走行用の給電装置を撤去し、新たに給電盤の改修を行い、カート走行用の給電をトロリー方式に改修した。
 - (12) カート昇降用ジャッキを分解、点検、清掃し、ジャッキ内部の油、Oリング等を交換した。
 - (13) 上下壁及び左右壁の開口比は、予め設定したシーケンスに従って変更出来るように、駆動機構及び位置検出器を更新した。
 - (14) カート改修作業終了後、壁開口部分及び配線ダクトを除き、カート外面及び内面の塗装を行った。
- 改修作業の結果、模型姿勢制御は図25の系統図に示すように、計測室の操作卓からのデジタル入力で簡単に操作して、精度良く設定できるようになった。カート壁

開き角、第2スロート、デイフューザーフラップの制御も同様な操作が可能になり、従来の操作方法よりも安全に精度良く操作出来るようになった。

模型姿勢については、測定部にセットしたカート内に新たに手元操作箱を設置して、実物の動きを見ながら制御出来るようにした。これを用いて、模型姿勢角の設定精度の確認が出来るほか、模型の水平基準位置の設定、上限、下限位置の設定などが簡単に出来るので、非常に便利で現場作業及び遠隔操作時の安全確保に役立っている。この操作画面の例を図26に示す。この画面の下側に駆動用の押し釦がついているので、それを押せば姿勢角の変更が任意に出来る。まず、カートを測定部の外に搬出する時には、搬出位置の設定をして駆動釦を押せば、模型姿勢角は自動的に基準位置に動作する。次に、カー

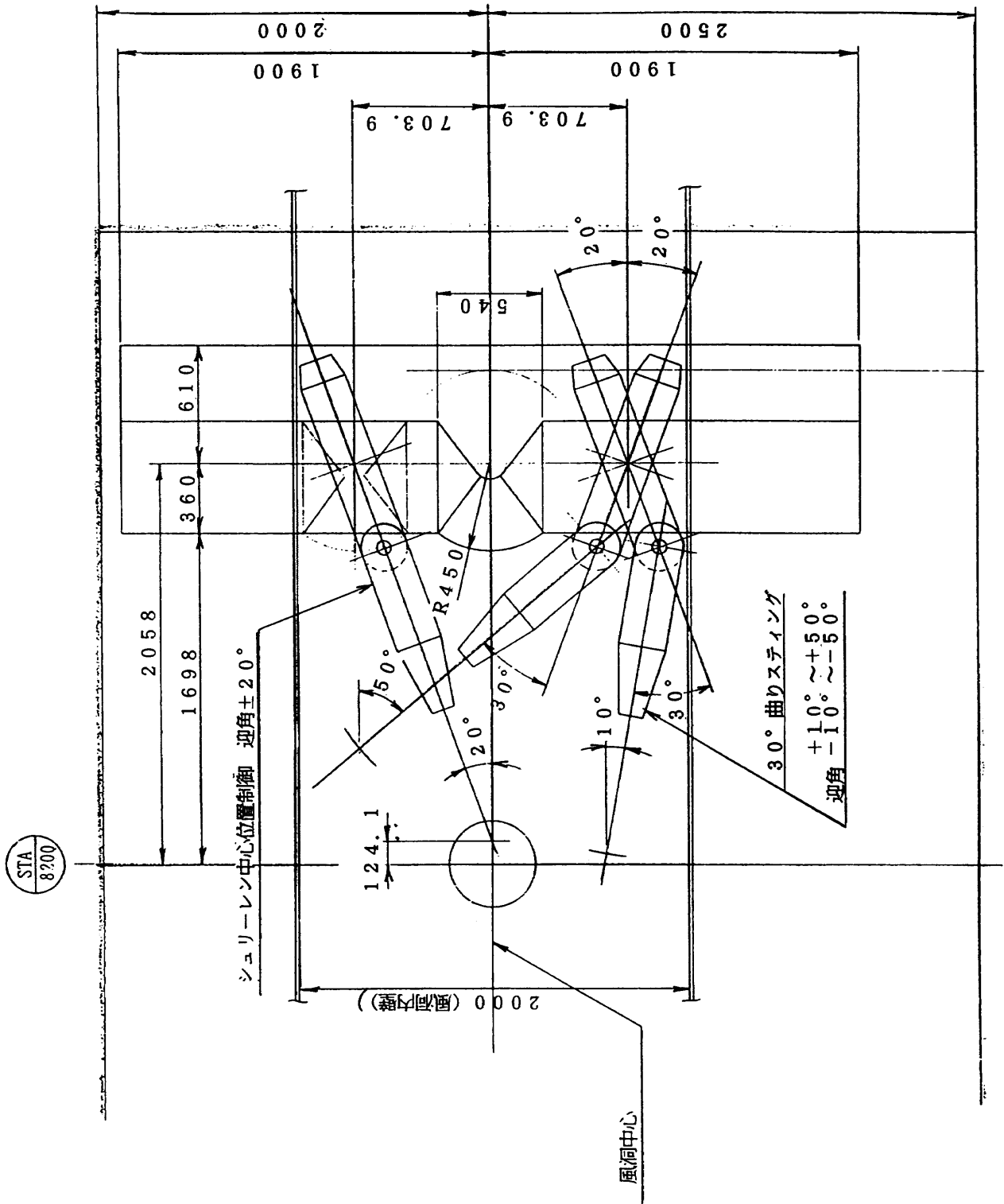


図23 模型支持装置基本設計 (第5案)

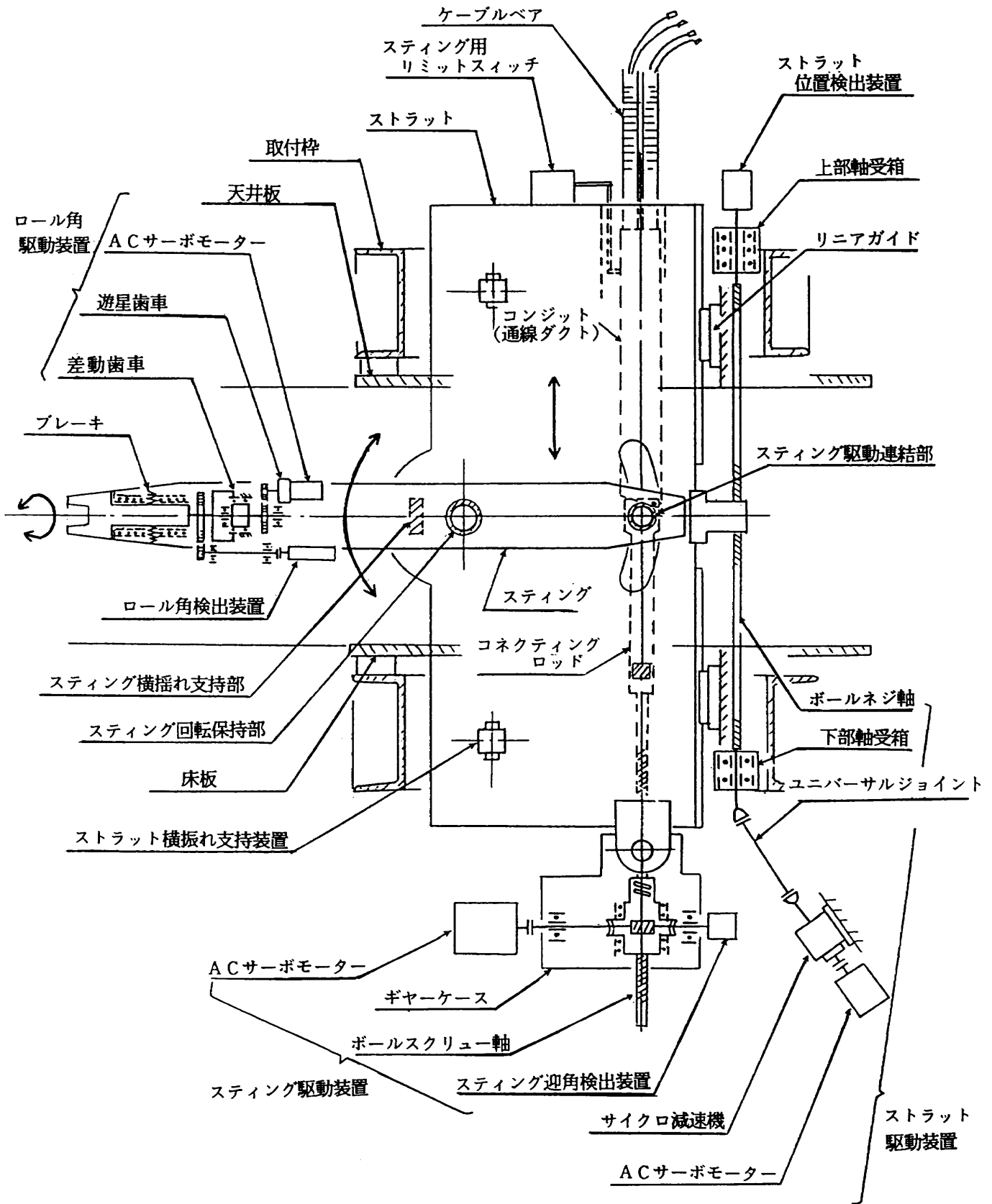


図24 模型支持装置概念図

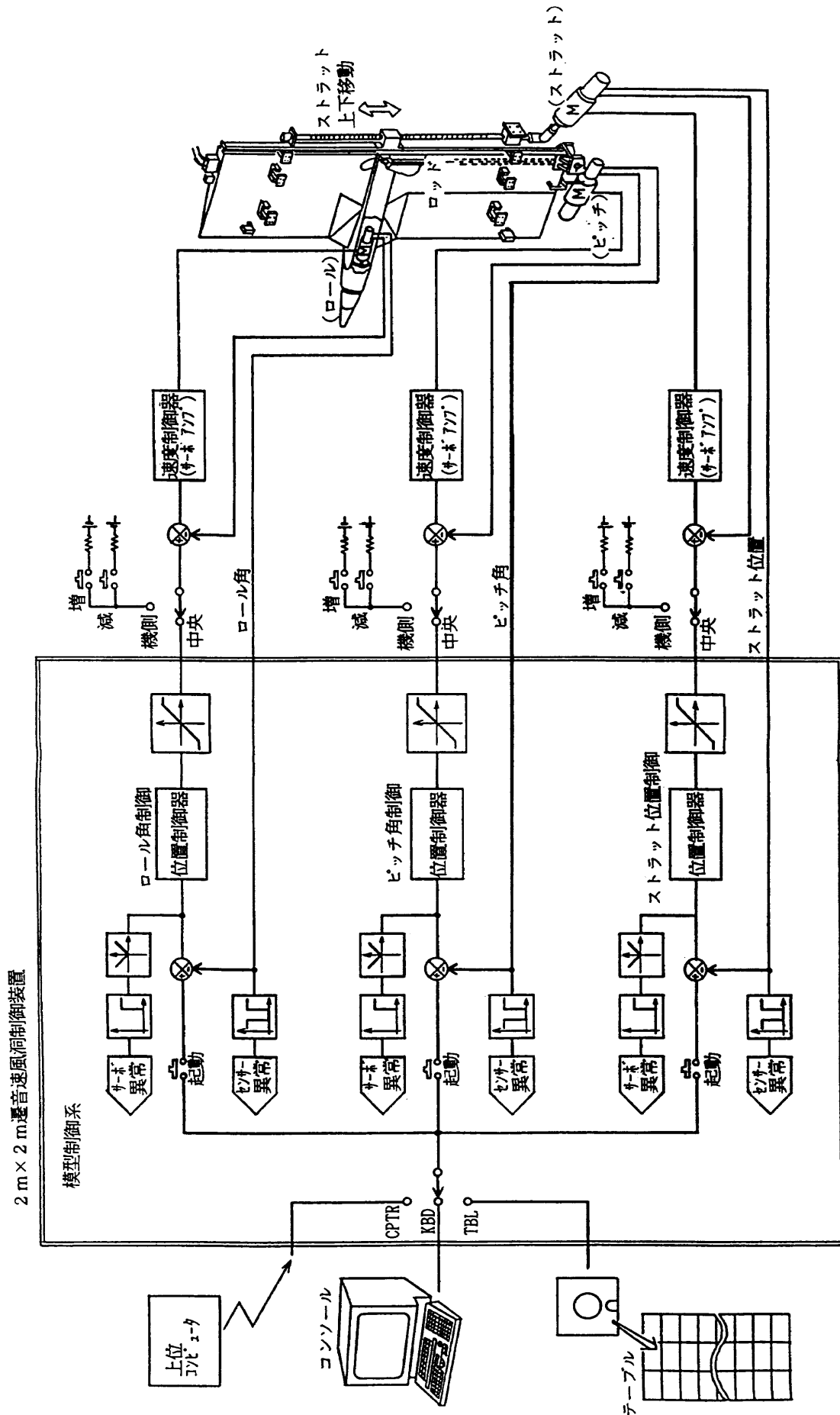


図25 模型制御系統図

全機模型カート (通常操作画面)

ピッチ角	ロール角	高さ
±99.999	±99.999	±99.999
上限	基準	下限
		高 低

全機模型カート (基準位置設定画面)

ピッチ角	ロール角	高さ
±99.999	±99.999	±99.999
	基準	現在

全機模型カート

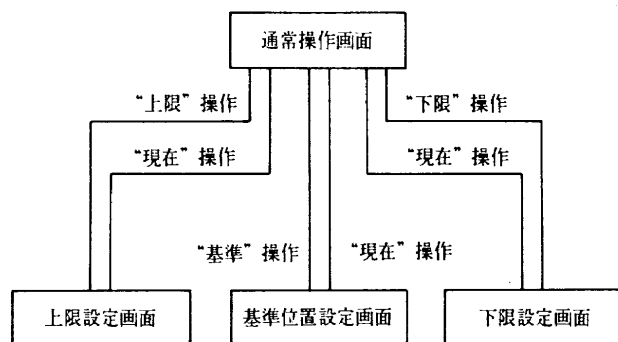


図26 手元操作箱画面 (全機カート)

ト移動用の押し釦を押す。従来は、この操作の前にストラット下の空圧シリンダーを外す必要があったが、この装置を撤去したので模型支持装置の上下位置を目視で確認する必要がなくなり、誰でも安心して移動出来るようになった。

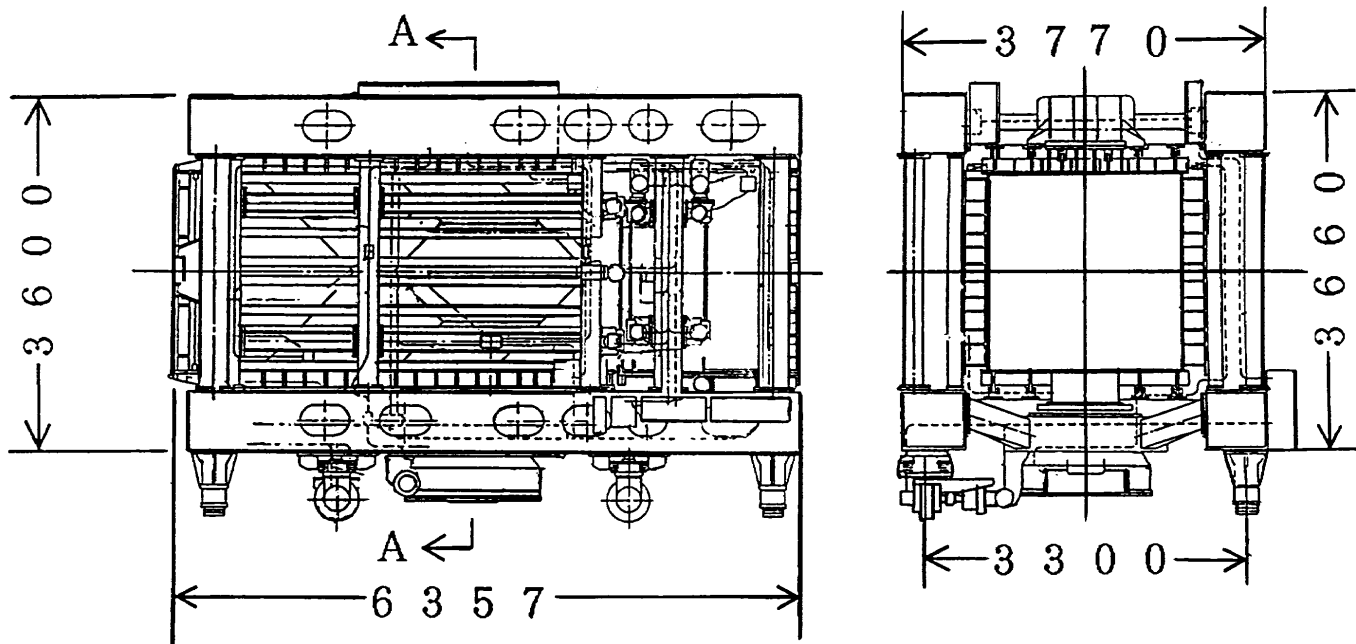
尚、改修後に模型姿勢角、壁開口比、第2スロート及び壁開き角を測定したが、何れも改修作業前に設定した目標性能を満たしていることを確認した。

4.4.2 半載模型用カート (第2カート)

半載模型用カートは、図27に示すように第1カートと同じ20%垂直穴の壁形状であり、壁開き角、第2スロート及びデイフューザーフラップも同じ形式である。試験模型の取付は床に行う方式であり、部分模型による試験を行うことが多く、航空機や飛翔体の詳細形状を決定する時に使用される。

このカートの模型支持装置は、カートの中央部床にあり、模型は床面の円盤上に取付ける。円盤の下には、模型に働く空気力を測定するため、外装式5分力天秤が設置してあり、模型と天秤は一体のものとして、模型支持装置の台枠と一緒にウォーム軸を介して駆動電動機により駆動し模型姿勢を変更する。駆動軸には、角度検出用のポテンシオメータが取付けられており、これによって模型姿勢角を測定する。

この他に、図28に示すような模型後流測定用のピトー



南側側面図

A ~ A 断面

図27 半載模型用カート

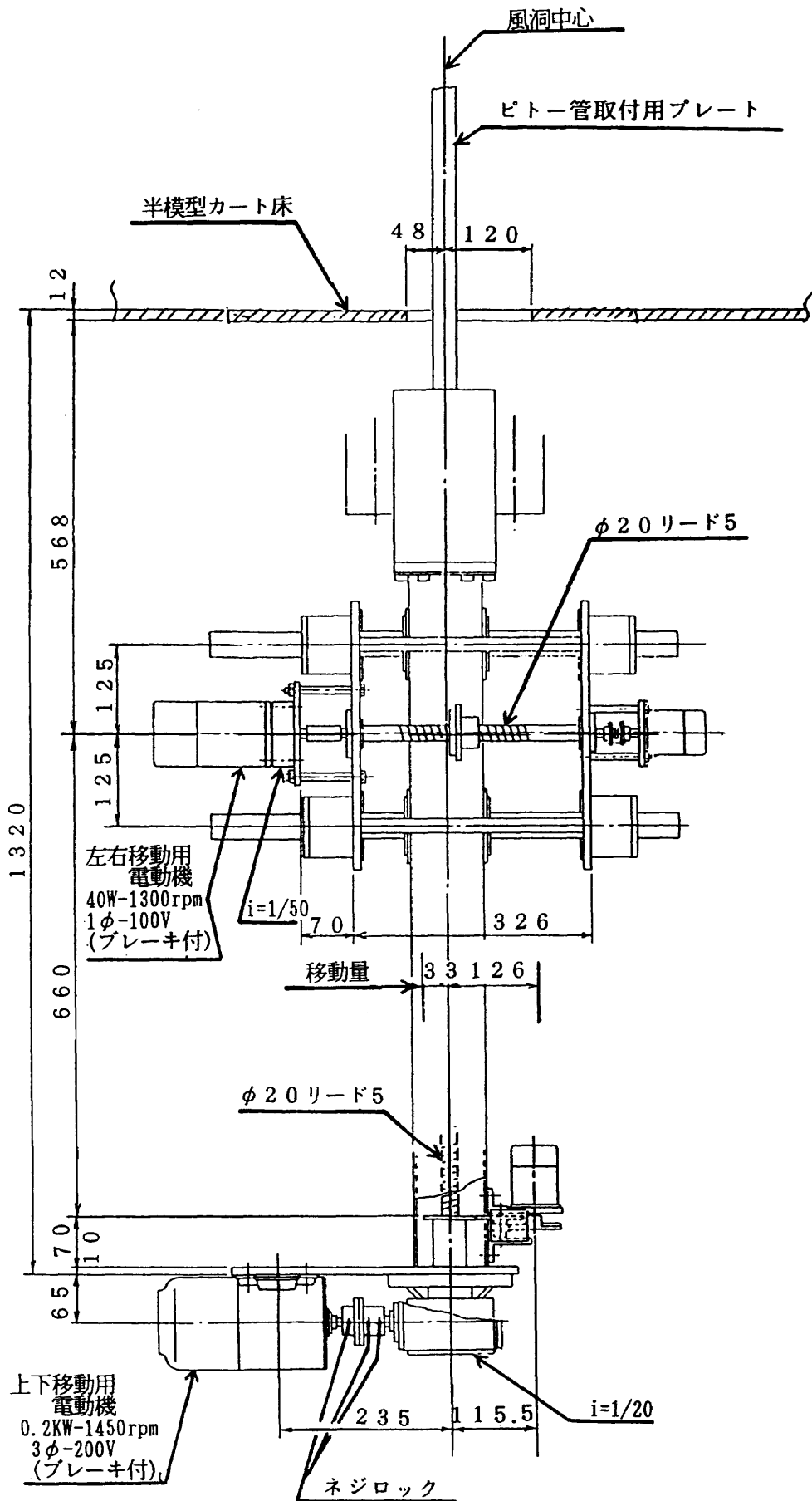


図28 ピトートラバース装置 (下流側より見る)

トラバース装置がある。この装置は、先端にピトー管を取付けて、上下、左右に移動する構造になっており、模型支持装置の後流床下に設置してある。模型後流測定時に床面の蓋を開けてこの装置を床上まで上げて、その上にピトー管を取付け、気流内で上下左右に動かして使用する。通常は、ピトー管後部に1台のスクヤニバルブを収納し、圧力計測を行うことが多い。

改修作業の主な内容は、次の通りである。

- (1) 模型支持装置全体の分解、点検及び清掃を行い、軸受、軸シール、ブレーキ部品及び回転保持部の老朽部品を交換し駆動電動機を更新した。迎角及び位置検出器はポテンショメータ方式からアブソコーダー方式に改修し、カート上の駆動電力用と制御用の配線を更新した。
- (2) 迎角の設定精度は $\pm 0.05^\circ$ とし、検出精度は $\pm 0.01^\circ$ 、設定速度は $0.42^\circ/\text{秒}$ 、変角範囲は $\pm 20^\circ$ とした。
- (3) ピトートラバース上下位置の設定精度は $\pm 0.58\text{mm}$ とし、検出精度は $\pm 0.05\text{mm}$ 、設定速度は $5.8\text{mm}/\text{秒}$ 、移動範囲は 840mm とした。
- (4) ピトートラバース左右位置の設定精度は $\pm 0.21\text{mm}$ とし、検出精度は $\pm 0.05\text{mm}$ 、設定速度は $2.1\text{mm}/\text{秒}$ 、移動範囲は 140mm とした。
- (5) 模型姿勢及びピトートラバース位置設定時の操作性、位置設定精度及び検出精度の向上のため、操作方法及び検出センサーを更新した。
- (6) 模型姿勢及びピトートラバース位置の操作は、計測室の中央操作卓からの遠隔操作とカート室内での現場操作を行うため、手元操作箱と制御用の機側制御盤を新設した。
- (7) 左右壁開き角、第2スロート及びディフェューザーフラップの機構を分解し、点検及び清掃を行い、軸受、軸シール、ブレーキ部品、回転保持部の老朽部品、駆動機構及び位置検出器を交換し、カート上の駆動電力用と制御用の配線を更新した。
- (8) カート走行用の駆動装置を分解、点検、清掃し、軸受、軸シール、カップリング、リミットスイッチ、減速機付き駆動電動機及びカート移動制御盤を更新し、カート内部照明及び映像信号の配線を新設した。
- (9) カート走行用の給電装置を分解、点検し、給電盤の改修を行い、カート走行用の給電をトロリー方式に改修した。
- (10) カート昇降用ジャッキを分解、点検、清掃し、ジャッキ内部の油、Oリング等は交換した。
- (11) カート改修作業終了後、壁開口部分及び配線ダクトを除く、カート外面及び内面の塗装を行った。

この結果、模型姿勢及びピトー管位置の制御は全機カートと同様に計測室の操作卓からのデジタル入力による操作で簡単に精度良く設定出来るようになった。カート壁開き角、第2スロート、ディフェューザーフラップの

制御も同様である。模型姿勢操作及びピトー管位置操作は、全機カートと同様に手元操作箱を用いて、現場で操作出来る。この操作画面の例を図29と図30に示す。全機

半模型カート（模型操作画面）

ピッチ角 ± 99.999		ピトートラバース
上限	基準	下限

半模型カート（基準位置設定画面：模型の場合）

ピッチ角 ± 99.999		現在
	基準	

半模型カート（基準位置設定画面：ピトートラバースの場合）

右・左 ± 99.999	上・下 ± 99.999	
	基準	現在

半模型カート（ピトートラバース操作画面）

右・左 ± 99.999	上・下 ± 99.999	模型
上限	基準	下限
		収納

図29 手元操作箱画面（半載カート）

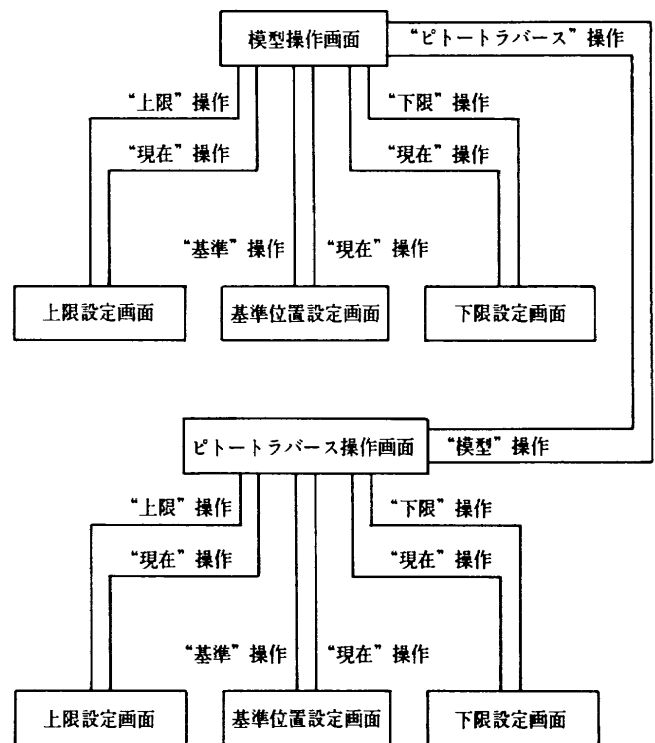


図30 手元操作箱画面選択（半載カート）

カートと操作方法は同じである。

尚、改修後に模型姿勢角、ピトトラバース位置、第2スロート及び壁開き角を測定した結果、何れも目標性能を満たしていることを確認した。

4.4.3 多溝壁カート（第3カート）

第3カートは、全般的に第1カートとほぼ同じ機能を持つ全機模型用である。上下左右の壁のマッハ数制御用の穴が開口比8%の斜孔壁になっており、壁の外側の開口した板を摺動して8%から0%まで変更出来るところが第1カートと異なる。但し、このカートは以前は4面固体壁で超音速試験に使用していたので、模型支持装置の耐荷重が小さくなっている。しかし、同じ形式のカートが2台あるのも無駄なので、このカートの改修に関しては、カートを有効利用するために、部内の主要ユーザーの意見を聞く検討会を開いて意見を集約した。

壁形式は、壁干渉を低減化するために、適応壁が考えられたが、カートの長さや上下の制限など、種々の理由から実行が見送られた。その代わりに、測定部カート内の気流の質の改善を図るため、騒音や衝撃波の反射が少なく、遷音速附近の気流特性が良いことが知られている多溝壁に改修することにした。即ち、上下壁を開口率6%の多溝壁とし、左右壁は穴なし固体壁として、各壁には壁干渉量を計算するため必要な場所に必要な個数の静圧測定孔を開けることにした。模型周りは、可視化試験が容易に出来るように、従来から設置されている左右壁のシュリーレン窓以外に上下左右の壁にも模型監視用の小窓を沢山つけることにした。図31にこのカートの概要を示す。更に、このカートを有効に利用するため、空力弾性試験装置を設置した。遷音速風洞での空力弾性試験は、従来から半載模型用カート（第2カート）の一部を利用した簡易的な試験装置を用いて、翼模型及び半載模型による試験を行ってきた。しかし、空力弾性試験に対する重要性が増し、精度向上、試験効率の改善、安全な試験法の確率等の要求が高まってきており、これらの要求に沿った空力弾性試験装置として、空力弾性模型支持装置とフラッタ緊急停止装置をカート上に設置し、駆動用の可搬型油圧装置と第1コーナーに取付するための破損模型回収網を新設することにした。

改修作業の主な実施項目は、次の通りである。

- (1)カート壁を分解し、上下壁は開口率6%の多溝壁、左右壁は開口率0%の穴なし固体壁に改修した。壁の板厚は12mmで材質はSS41Pである。上下壁に各5列（1列に付き45点）の静圧孔、左右壁に各1列45点の静圧孔を配置した。
- (2)模型支持装置全体の分解、点検及び清掃を行い、軸受、軸シール、ブレーキ部品及び回転保持部の老朽

部品を交換し、駆動機構は電動サーボ方式に改修、位置検出器をデジタル式に改修し、カート上の駆動電力用と制御用の配線を更新した。

- (3)迎角の設定精度は $\pm 0.01^\circ$ とし、検出精度は $\pm 0.005^\circ$ 、設定速度は $0.6^\circ/\text{秒}$ 、変角範囲は $\pm 20^\circ$ とした。
- (4)ロール角の設定精度は $\pm 0.1^\circ$ とし、検出精度は $\pm 0.02^\circ$ 、設定速度は $2.0^\circ/\text{秒}$ 、変角範囲は $\pm 180^\circ$ とした。
- (5)ストラット位置の設定精度は $\pm 0.5\text{mm}$ とし、検出精度は $\pm 0.1\text{mm}$ 、設定速度は $30\text{mm}/\text{秒}$ 、移動範囲は $\pm 600\text{mm}$ とした。
- (6)模型姿勢の操作は、操作性を改善し、模型位置設定精度及び検出精度を向上するため、計測室の中央操作卓からの遠隔操作とカート室内での現場操作の両方で出来るように制御用の機側制御盤と手元操作箱を新設した。
- (7)左右壁開き角、第2スロート及びデیفューザーフラップの機構を分解し、点検及び清掃を行い、軸受、軸シール、ブレーキ部品、回転保持部の老朽部品、駆動機構及び位置検出器をアブソリューター方式に交換し、カート上の駆動電力用と制御用の配線を更新した。
- (8)カート走行用の駆動装置を分解、点検、清掃し、軸受、軸シール、カップリング、リミットスイッチ、減速機付き駆動電動機及びカート制御盤を更新し、カート内部照明及び映像信号の配線を更新した。
- (9)カート走行用の給電装置を分解、点検し、給電盤の改修を行い、カート走行用の給電をトロリー方式に改修した。
- (10)カート昇降用ジャッキを分解、点検、清掃し、ジャッキ内部の油、Oリング等は交換した。
- (11)カート左右壁には、3組のシュリーレン窓を設置するほか、6組の模型監視用窓も設置した。上下壁にも3組の模型監視窓を設置した。各窓は、ガラス窓と静圧孔付きの盲板が別々に用意してあり、試験目的に応じて交換して使用する。
- (12)カート改修作業終了後、壁開口部分及び配線ダクトを除く、カート外面及び内面の塗装を行った。内面については、光学計測時の照明光線の反射を防ぐ艶消し塗装（黒色）を施した。
- (13)空力弾性模型支持装置の迎角設定は、検出精度を $\pm 0.05^\circ$ とし、変角速度を $0.6^\circ/\text{秒}$ 、変角範囲は $\pm 20^\circ$ とした。図32に形状を示す。
- (14)空力弾性模型支持装置のロール角の揚力調整は、検出精度 $\pm 0.1^\circ$ とし、調整速度が $0.2\text{mm}/\text{秒}$ 、変角範囲を $\pm 5^\circ$ とした。

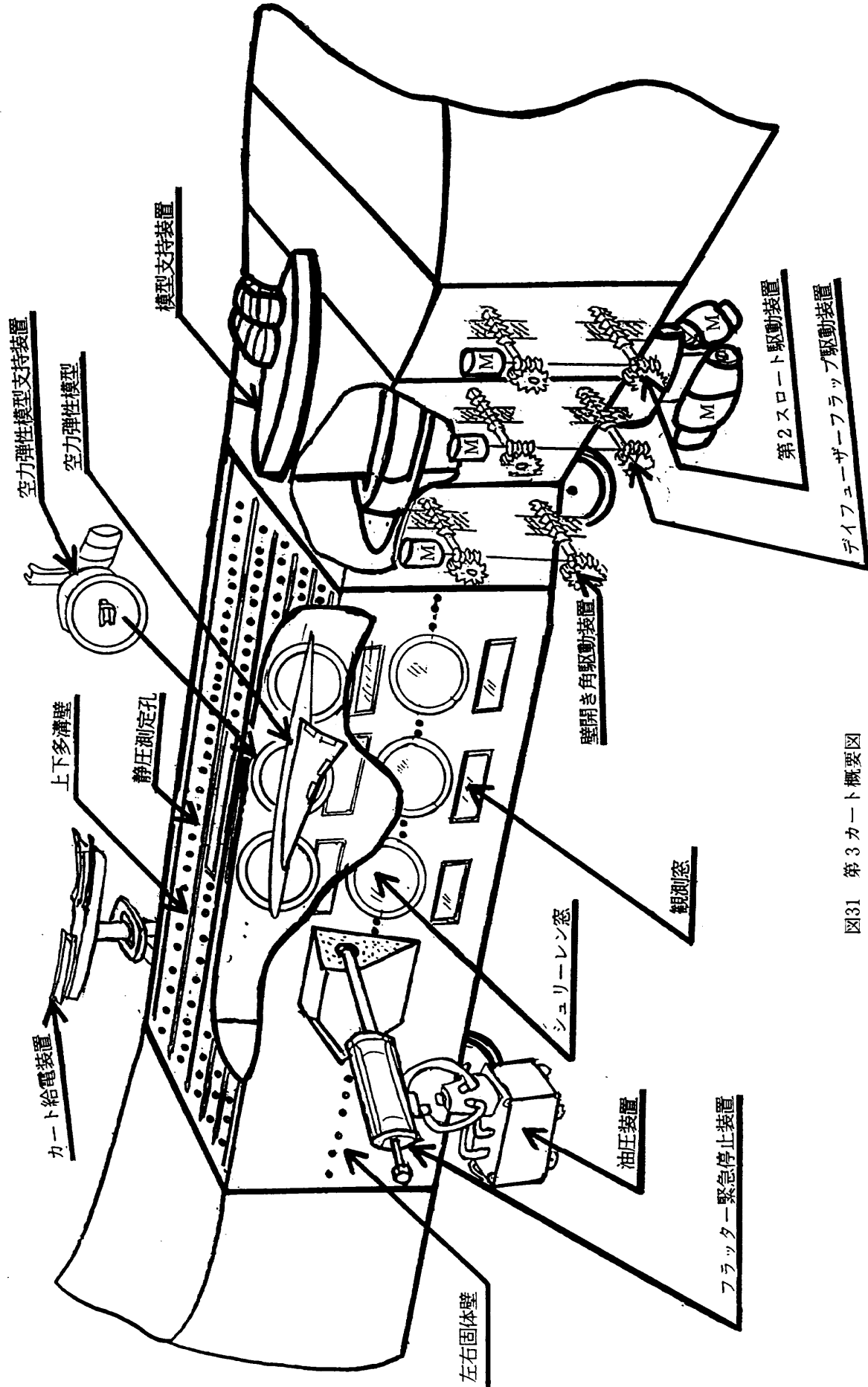


図31 第3カート概要図

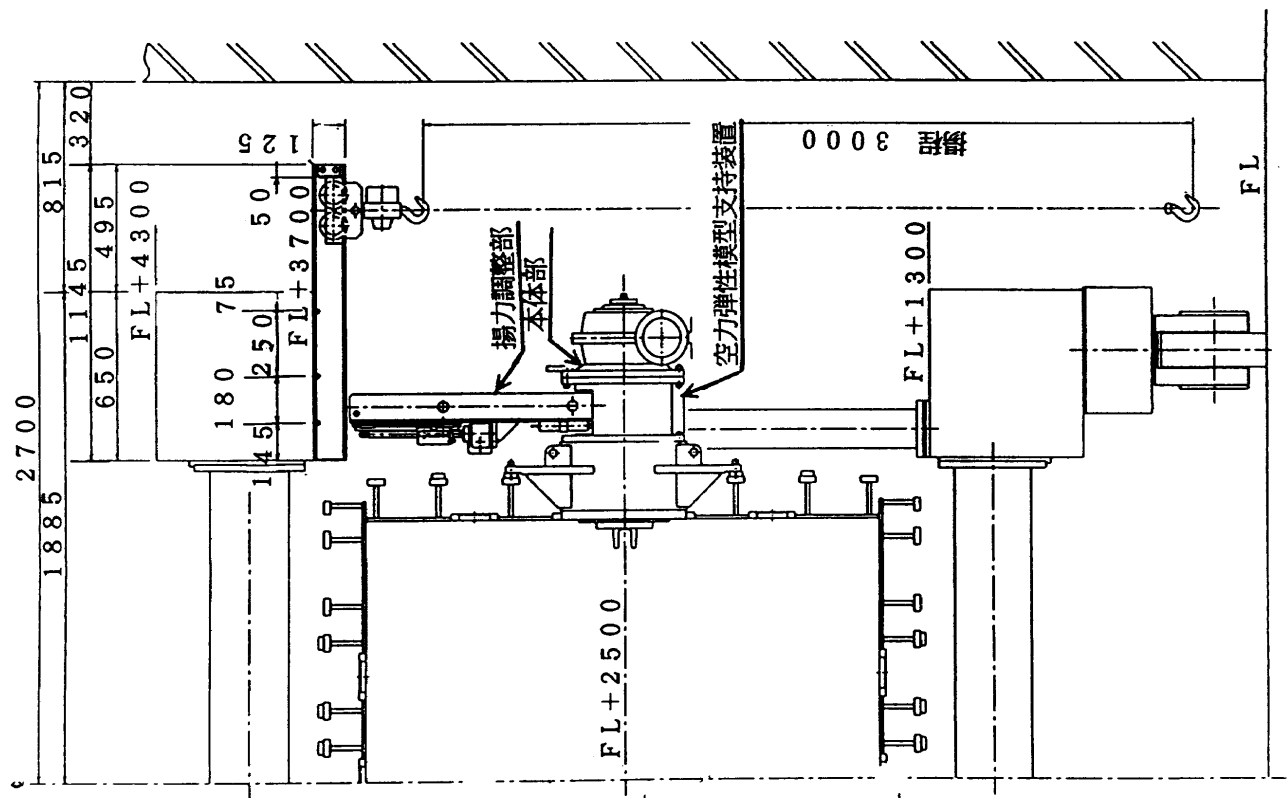
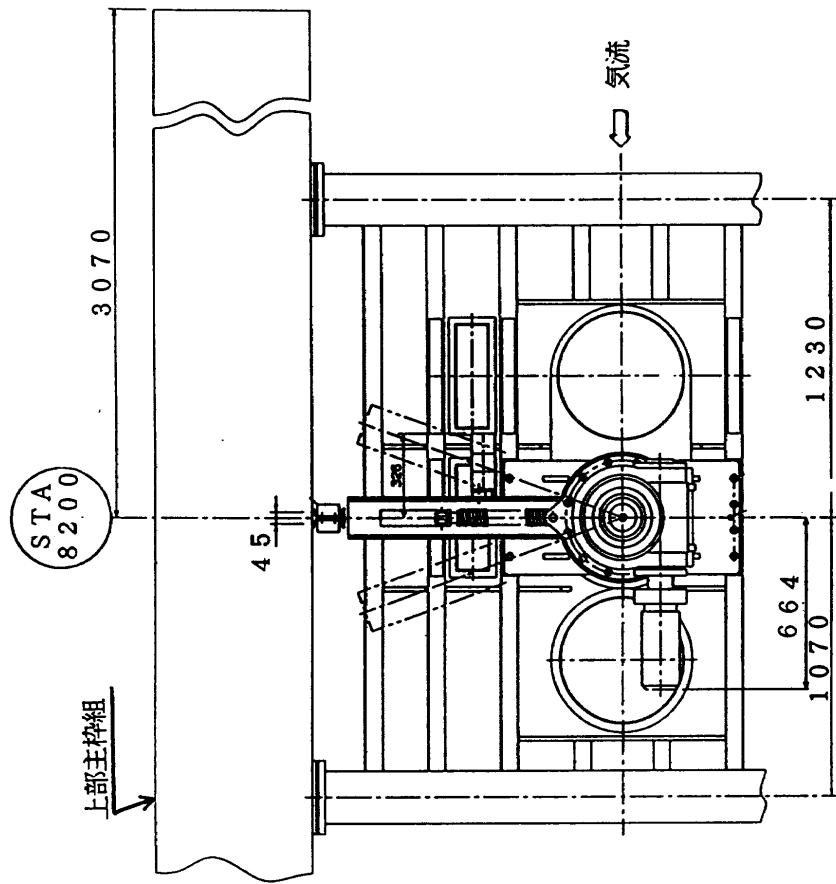


図32 空力弾性模型支持装置

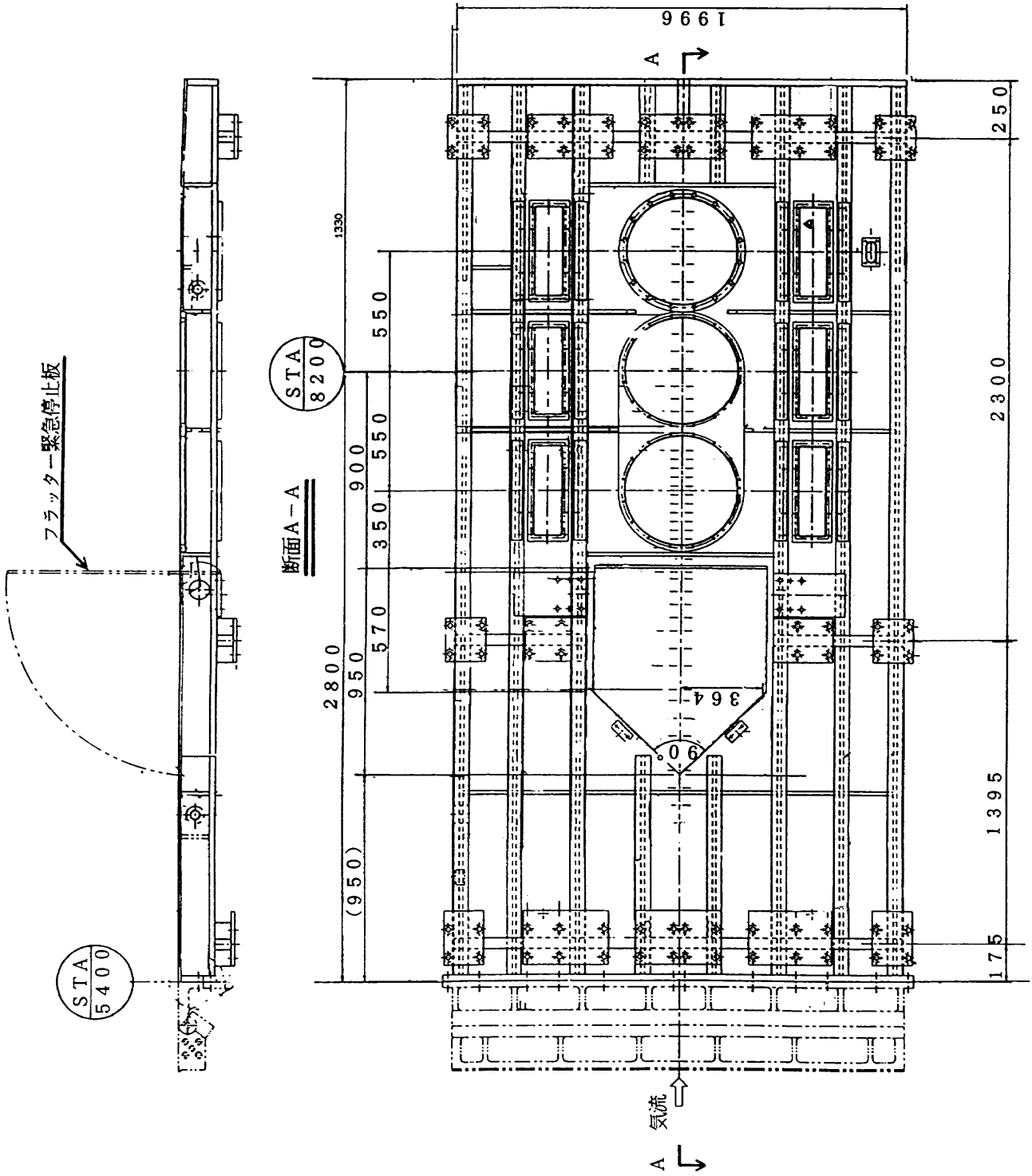


図33 フラッター緊急停止装置

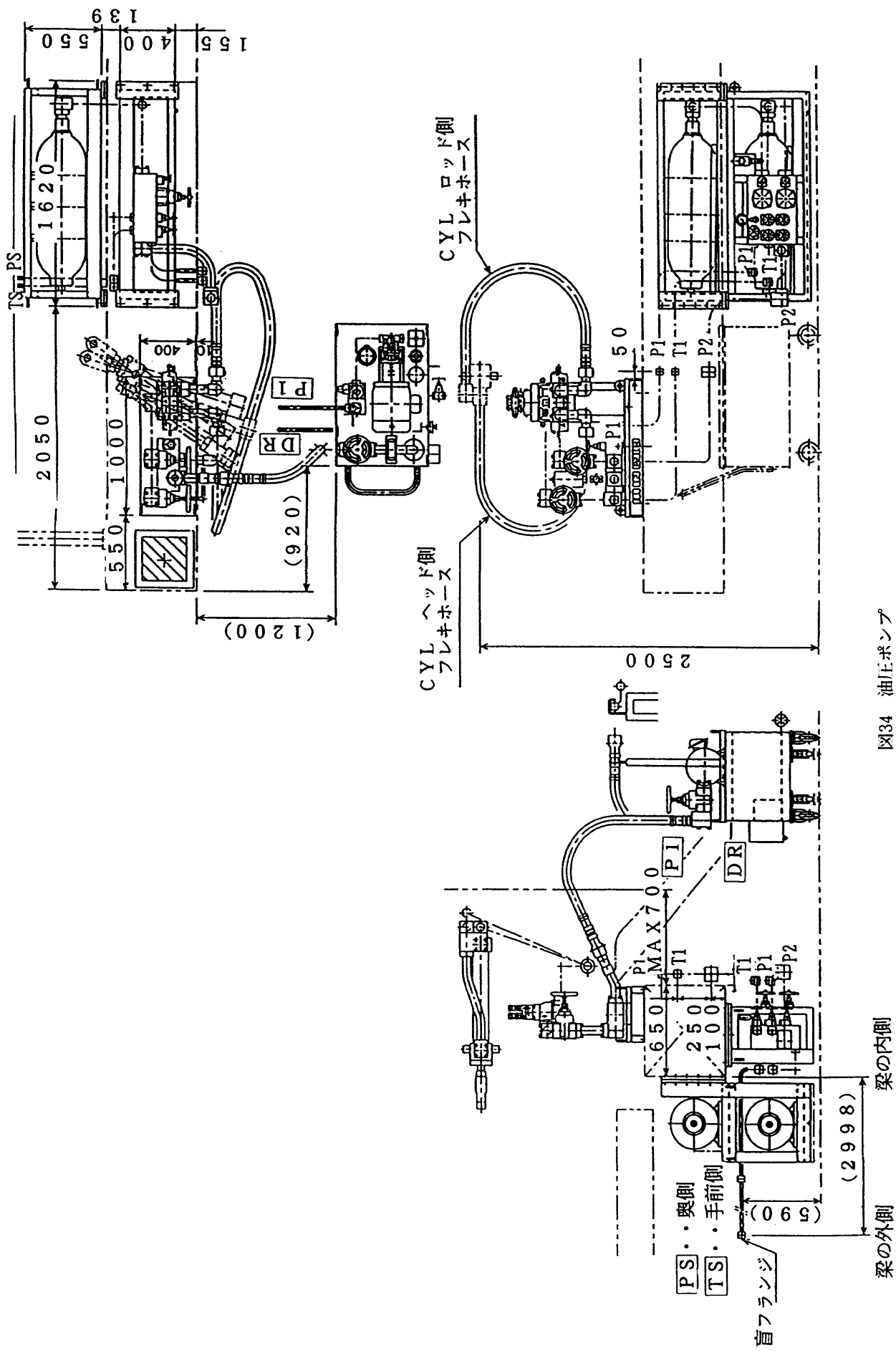


図34 油圧ポンプ

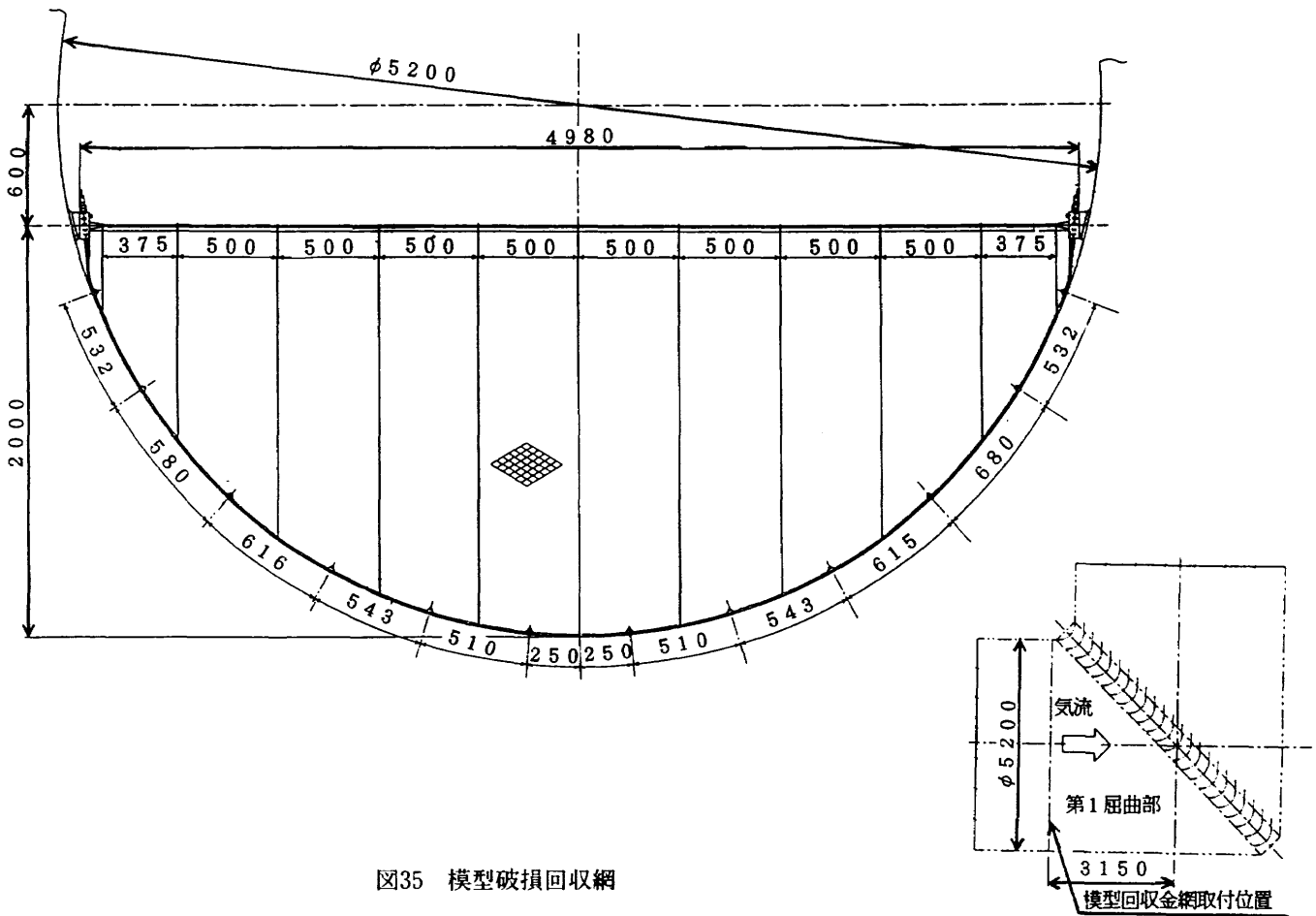


図35 模型破損回収網

- (15)フラッタ緊急停止装置は、油圧シリンダー駆動により、 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ まで立ち上げ可能で、立上がり時間を30ミリ秒以内、開方向最大速度 $160^{\circ}/\text{秒}$ 以上とした。図33に形状を示す。
- (16)油圧装置は、ポンプ吐出圧力13.72MPa、ポンプ吐出量20リットル/分、タンク容量200リットルの性能を有し、手動にて移動可能な台車上に取付、風洞試験時にカート横に運んでホース等を接続して使用する。図34に形状を示す。
- (17)空力弾性試験用模型が破損して飛散した時の風洞機器の損傷を防ぐため、第1コーナーの床面から2m高さから下を保護する破損模型回収網を製作し、風洞試験時に設置するようにした。図35に形状を示す。

この結果、模型姿勢及びカート壁開き角、第2スロート、デフューザーフラップの制御は他のカートと同様に計測室の操作卓からのデジタル入力及びカート内での手元操作箱による操作で、簡単に精度良く設定出来るようになった。空力弾性模型支持装置及びフラッタ緊急停止装置の操作は、計測室の専用操作卓の操作で制御出来るようにした。

尚、改修後に模型姿勢角、空力弾性試験装置、第2ス

ロート及び壁開き角を測定した結果、何れも目標性能を満たしていることを確認した。

4.5 蛇腹棒

測定部カートを風洞経路に嵌め込んだり、或いは風路から取外したりするために、カート前後と風路の間に若干の隙間が設けてある。通風時はこの隙間を防ぐ必要があるため、蛇腹棒を取付けている。図36に示すように蛇腹棒は第1拡散胴の入口にあり、駆動用油圧ジャッキにより気流方向に対して、前後方向に移動する。カートを測定部に3点ヒンジを介してセットする時に蛇腹棒を前方に移動して結合し、カートを取り出す時には後方に移動して切り離す。この部分は、カート後部になるので、通風時には結合を十分に行うこと、カート移動時には隙間を確保することが必要である。カート交換作業は、頻繁に行う場合で週に1~2回程度と少ないが、それでもヒンジ部分が摩擦で片あたりするようになり、駆動用のジャッキから油洩れしていた。蛇腹部分は、枠案内板が通風時に受ける変動気流による加振を受けて疲労し、折損事故を起こした事があり、応急措置を施していたが万全ではない。その他、次のような不具合があった。蛇腹棒本体の動きが滑らかでなくギクシャクし、蛇腹棒全体

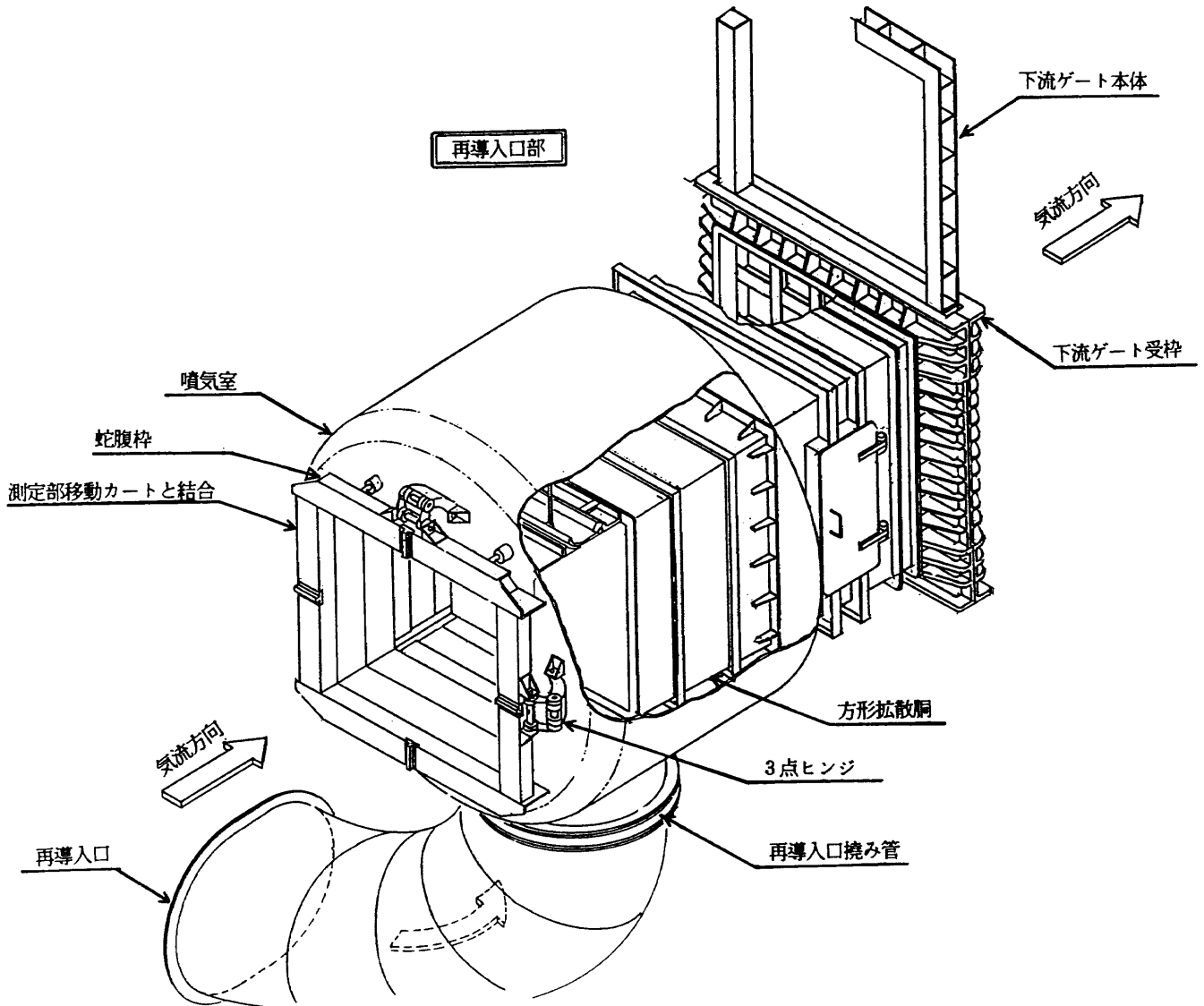


図36 蛇腹棒位置

が少し下を向きストロークの最後のキーが溝に入る段階で乗り上げがあるほか、随所に油洩れが身受けられた。

改修作業は、3点ヒンジを分解し、点検、清掃、軸受、オイルシールの交換及び調整を行い、キー及びキー溝の部品交換、結合部の前後で段差を生じないよう組立、調整を行い、蛇腹棒本体の点検、清掃及び補修塗装を行った。駆動方式を従来の油圧方式から電動駆動方式に変更するため、この部分を設計、製作し、取付け及び調整を行った。

改修の結果、作業性、保守性も向上した。改修作業による主な機能変更内容と改善点を次に示す。

(1)改修前の油圧駆動は、シリンダ内径101.7mmφ、ロッド径60.7mmφ、ストローク140mm、油圧力2MPa、油圧シリンダ1本当りの推力が押し込み時に16kN、引き戻し時に10.3kNであった。改修後の電動駆動では、1台当りのジャッキ推力が16.7kN、最大

24.5kN、ジャッキスピードは2.5mm/秒、移動ストロークは120mmなので、駆動所要時間は48秒となっている。

- (2)駆動操作は、蛇腹棒横に設置した制御盤の押し釦操作で着脱の何れも容易に出来るようになり、油洩れによる胴内汚染の心配もなくなった。
- (3)図37に駆動系の概要を示す。1台の電動機から上下各2基のスクリージャッキに駆動伝達を行い、蛇腹棒が前後方向に均一に動作する構造に改修した。
- (4)カートを結合した後、カートに掛かる気流方向の荷重を保持するため、ノズル後流側の上下に設置された各10本の固定ボルトをカート前方の溝にはめ、ナットの締め付けを行う。蛇腹棒の改修時に結合部のキー調整と蛇腹棒前方への押し出しバネの調整を行ったので、従来のように各10本の締め付けなくても、各2本程度の締め付けで済むため、作業が簡略になった。

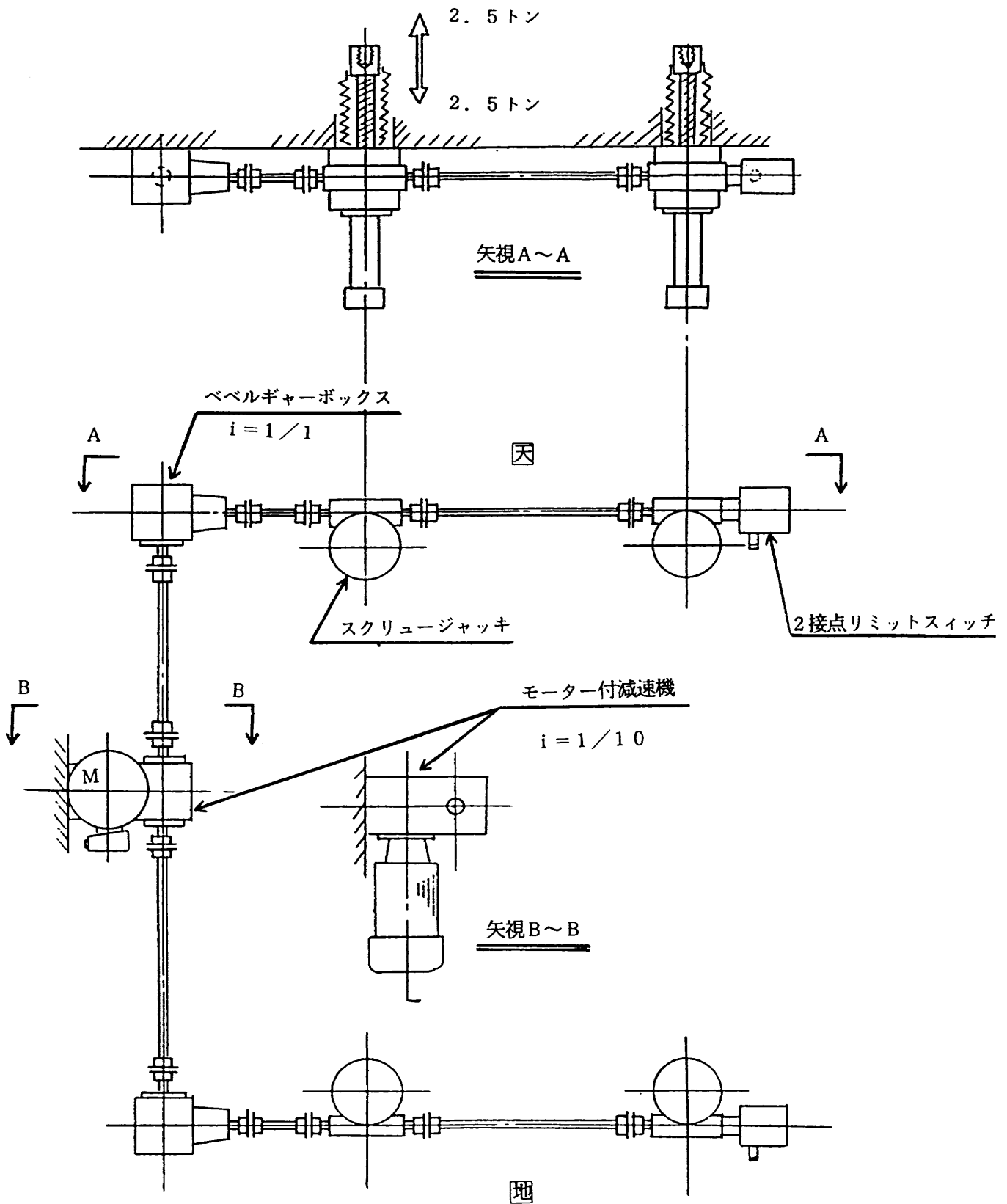


図37 蛇腹棒駆動系

4.6 再導入口と蝶型弁

2m×2m遷音速風洞は、最高マッハ数1.4の性能を確保するため、補助送風機を用いた測定部からの強制抽気を行っている。測定部から抽気された気流部分は、プリナム室を介して図38のA点にある入口（風洞主風路第1拡散筒始点近くの左右に開孔している）から抽気回路に入り、補助送風機及び冷却器を通過した後主回路に戻る。その戻り回路は、図38のB点で二つに分岐し、一つは主回路冷却器下流のC点に至り、他は第1拡散筒部のD点に至る。このD点を再導入口と呼んでいる。戻り回路を二つに分岐した理由は、補助送風機が設計圧力比を達成出来ない場合を想定し、本来の戻り口であるC点よりも静圧が相当に低い戻り口D点を用意したものである。再導入口が開孔していると、ここから主回路に戻る気流部分をC点における状態にまでエネルギー回復させる仕事は主送風機の負担となる。補助送風機の圧力比が十分であれば、再導入口は締切りにしておいて良く、その方が主回路としては好ましい。このような理由から、再導入口に至る戻り回路には仕切り用蝶型弁VM2が設けられ、又、再導入口直前のプリナム的空間（噴気室と呼んでい

る）内に手動による再導入口開閉用の装置が設けられていた。抽気回路入口のA点には、仕切り用の蝶型弁VM1が左右（北側Nと南側S）の入口の一つずつ設けられている。この弁は、補助送風機による抽気を行う時に開け、抽気を行わない時には閉めておくが、高速領域での試験が増加すると共に使用頻度が高まっていた。このため、駆動装置の油圧モータの油洩れ、シールの破損、インタロック用レバーの折損その他の不具合が生じてきていた。これまでは部分的な補修を重ねてきたが、それも限度となり、全体的な補修を行う必要があった。図39に再導入口の蝶型弁の取付位置、図40に弁の形状を示す。弁の周囲はエアシールによる気密パッキンでシールするようになっており、弁開時にはエアシールを抜いてから、サーボバルブに約2 MPaの圧油を供給して歯車機構を介して弁を駆動する構造である。

再導入口と蝶型弁には、次のような不具合箇所がある。
 ①再導入口接続用ゴム製伸縮管の著しく劣化していること、
 ②噴気口開度調節機構の動作が固いこと、
 ③パッキン、伸縮管等ゴム製品の著しく劣化していることがあげられる。また、④従来の噴気口開度調節は、マンホール

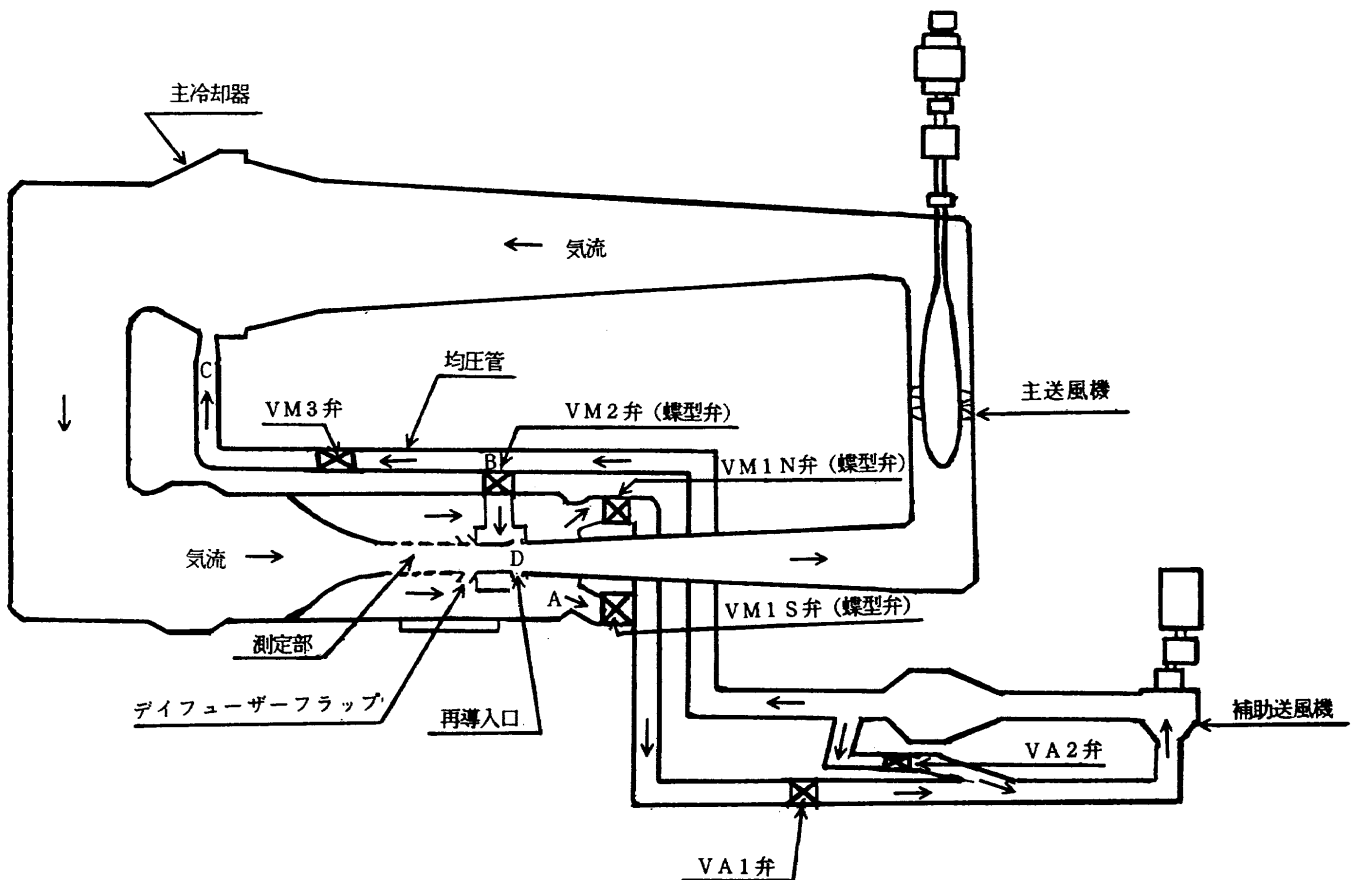


図38 補助送風機押気回路

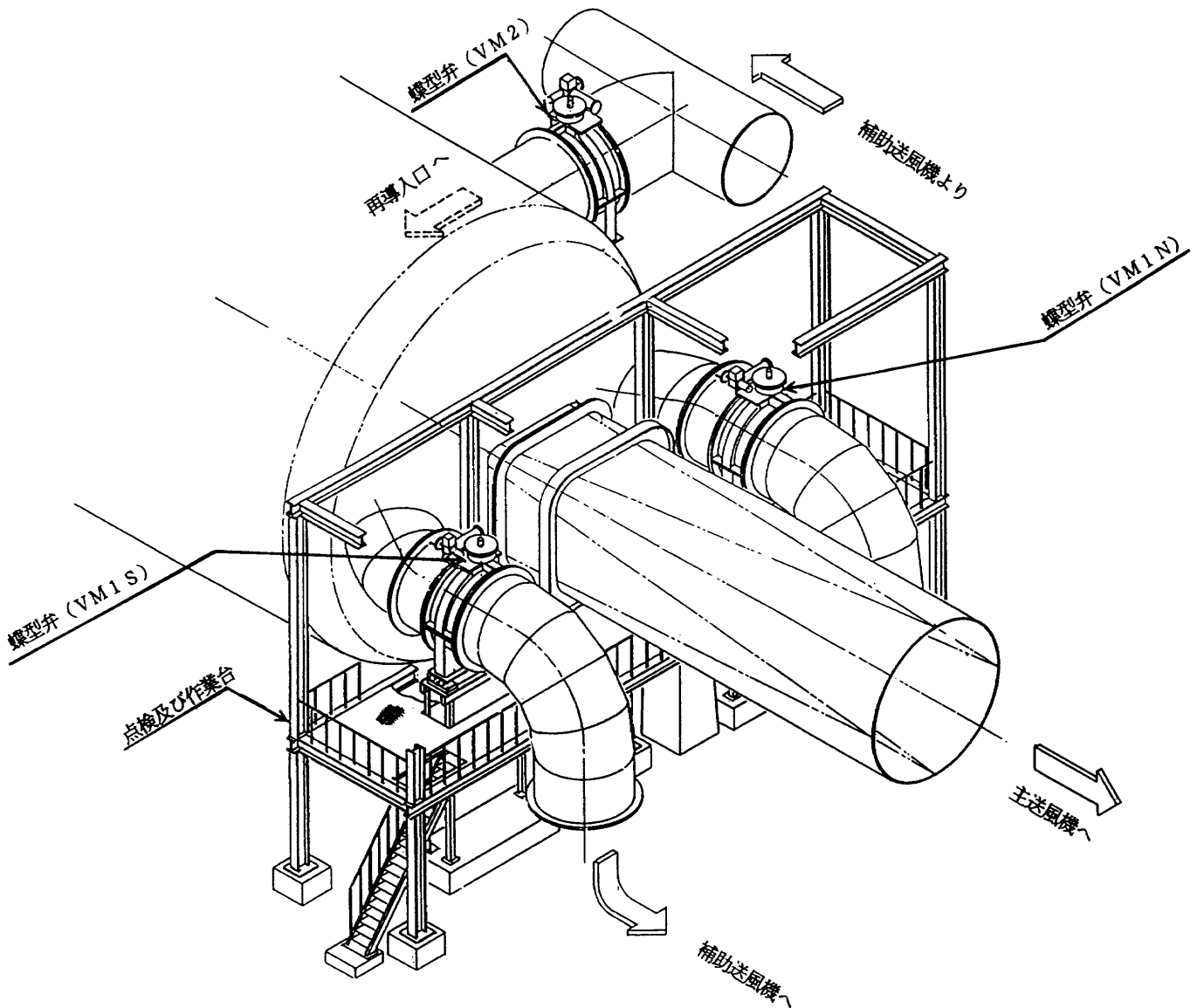


図39 再導入口

内部で作業するため、作業性が悪く危険なので外部調節機構に改造する必要がある。この他に、⑤蝶型弁のエアシールパッキンの劣化と著しい空気洩れ、⑥蝶型弁軸受部グリース固化によるグリースニップルの詰り、⑦蝶型弁エアシールパッキンのインターロック用互鍵弁のレバー折損、⑧蝶型弁駆動用油圧シリンダー部から著しい油洩れの不具合箇所がある。

このように、蝶型弁は全体をオーバーホールする必要があるが、風洞建設時と異なり風洞が防音建屋に覆われたので、高所の屋内作業となる。しかし、弁重量が約60 kNの物を地上に下ろすことは困難なので、メンテナンス用の恒久的な支持台を設置する必要がある。また、蝶型弁の駆動は、高所への油圧配管を引き上げていることによるパッキンの劣化、エア混入による互鍵弁の折損等

の不具合を解消するため、弁駆動機構を油圧シリンダー方式から、減速機付電動機駆動方式に変える必要がある。

このような制限を配慮して、抽気回路の再検討を行った。補助送風機の性能が十分であれば、再導入口に至る分岐戻り回路を閉鎖しても良いと考えられる。この可能性を調べ、さらに弁VM1、VM2の機能状況を調べるため、実際に風洞特性試験を実施して、次の結論を得た。

- (1)VM2弁が閉状態でも、マッハ数1.3の超音速領域まで通風可能であった。
- (2)その場合、補助送風機の圧力比がやや大きくなるが、バイパス弁のVA2弁開度を大きくして対処出来たので、今後、VM2弁は締切りのままとし、定期的に関閉動作を行い、開閉能力を維持することにした。

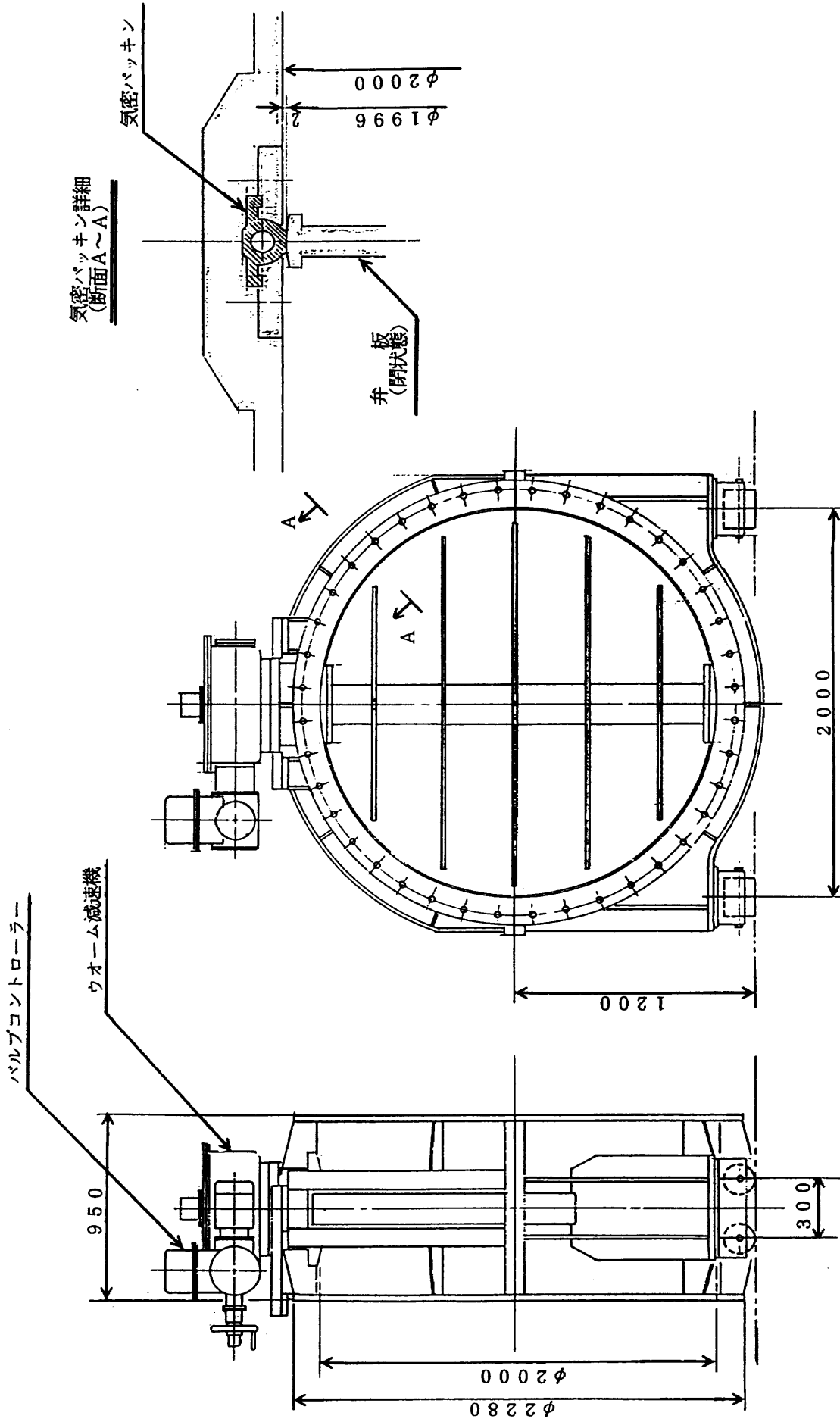


図40 蝶型弁

(3)抽気回路の締切弁は必要だが、必ずしも入口のVM1弁である必要はない。VA1弁で締め切る方が補助送風機との関連で都合が良いが、補助送風機の調整運転の時に、他に締切り弁が必要になるので別途検討することにした。

その結果、再導入口及び蝶型弁は大幅な改修作業は行わず、風洞試験時には再導入口も蝶型弁も操作しないで、開放のまま使用することにした。その後、補助送風機改修時に、これらの検討結果を参考にして抽気回路及び弁の改修が行われた。1990年以降は、VM2弁を閉にしてVM1N弁とVM1S弁を開にした状態で運転している。

4.7 第1屈曲部

風洞内の風路四隅の屈曲部には、気流の向きを90°曲げるために翼列が設置してあり、第1屈曲部から第4屈曲部までの名称がついている。測定部下流にある第1屈曲部は、測定部下流の拡散胴を経て主送風機に至る風洞屈曲部のことで、その断面には気流の曲りを滑らかにを行うため、図41に示すように薄板の翼列(偏流翼)が配置されている。この部分は、測定部の模型及び拡散胴からの複雑な気流変動を常時受けるため、従来の偏流翼には無数の亀裂が発生していた。従って、全体を更新することにした。更新に先立って現状の調査を行い、新設の方針で改修のための基本設計を行い、更新作業を実施した。

尚、基本設計前の調査では、次の事が指摘された。

- (1)測定部後流の高速の乱れた気流による振動を受けて、翼列板に100ヶ所以上の亀裂が生じている。
- (2)測定部での模型支持装置故障の際に落下した模型の直撃を受け、数箇所大きく凹みを生じている。
- (3)改修方法としては、全ての亀裂及び凹み部分を溶接補修するか、既設の偏流翼を撤去して新しい偏流翼と交換するかの何れか選択する必要がある。

更に詳細に調べるため、基本設計前に詳細検査¹¹⁾を実施し、目視による亀裂の状態調査、偏流翼に応力測定用歪ゲージと圧力センサーを取付け、風洞試験時の変動応力及び騒音等の測定を行い、次のような結果を得た。

- (1)溶接部分を目視で確認したところ、亀裂箇所が101箇所あり、そのうち亀裂防止処置済み70箇所、防止処置後延長したもの4箇所、亀裂が20mm以上が14箇所、20mm以下が17箇所あった。
- (2)防止処置済みのものは、亀裂の前端に穴明けして亀裂の延長を防止していたが、そのうち4箇所では亀裂がさらに延長していた。
- (3)20mm以上の亀裂は、亀裂が溶接線を越えて、偏流翼部分に延びていた。
- (4)20mm以下の亀裂は、溶接部分のひび割れ程度の亀裂であった。

(5)落下模型の衝突による偏流翼の変形(凹み)は、No.6及びNo.11の偏流翼前縁下部の3箇所にあり、大きさは幅15mm×上下70mm、幅20mm×上下15mm、上下20mm×奥行10mmであった。

(6)通常運動時の偏流翼の応力最大値は、No.18偏流翼で38.2MPaであった。

(7)主送風機回転数上昇時の偏流翼の応力最大値は、No.21偏流翼で、回転数が凡そ460rpmの時に、41.7MPaであった。

(8)模型迎角を0°と10°と変えた時の偏流翼の応力測定値には顕著な差が見られなかった。

(9)亀裂が入る前の偏流翼上の応力は、平均応力の最大値を定常応力とすると14.7MPaと推察される。

(10)主送風機回転数上昇時の440rpmから500rpmでは、気流の変動圧力と偏流翼の応力に強い相関があり、共振周波数は240HZであった。

(11)応力振幅は10°回で疲労破壊が生ずる127.4MPaと推察される。

(12)偏流翼は気流の変動圧力と偏流翼の固有振動数との共振により疲労破壊を起こしたものと推察される。

これらの結果を参考にして、次の3項目を基本設計の基本にした。①偏流翼の定常応力を低減するため、偏流翼板厚を9mmから12mmに変更する、②気流の変動圧力との共振を避けるため、偏流翼の固有振動数を上げる、③応力集中の生じにくい連結方式にする。具体的な目標は、板厚を増加して定常応力値を14.7MPaから8.4MPaに低減すること、応力振幅を127.4MPaから18.8MPaに低減すること、固有振動数を1.33倍に増加させて共振を抑止すること、更に、偏流翼の横方向接続を従来の千鳥状から水平連続接続に変更して剛性を高めることにした。

改修作業は、従来の偏流翼を撤去した後、新規に製作した偏流翼を胴内に持込み溶接組立を行った。

作業完了後、風洞試験を実施して性能評価を行い、次のような良好な結果を得た。

- (1)変動応力は、応力振幅で5MPa(最大8.33MPa)に低減した。
- (2)固有振動数は、約500Hz程度になり、気流の変動成分との共振が起きにくくなった。
- (3)これらの結果から、新しい偏流翼では脆性破壊や疲労破壊が発生し難くなり、安全性は極めて高くなった。

4.8 大扉

測定部への出入口である大扉は、風洞試験に先立つ準備作業の時に開放して器材の搬入を行う。風洞試験時には閉じて気密を保ち、10~250kPaの範囲の圧力変化に耐えられる。出入口はカート交換を容易に行うため、高さ

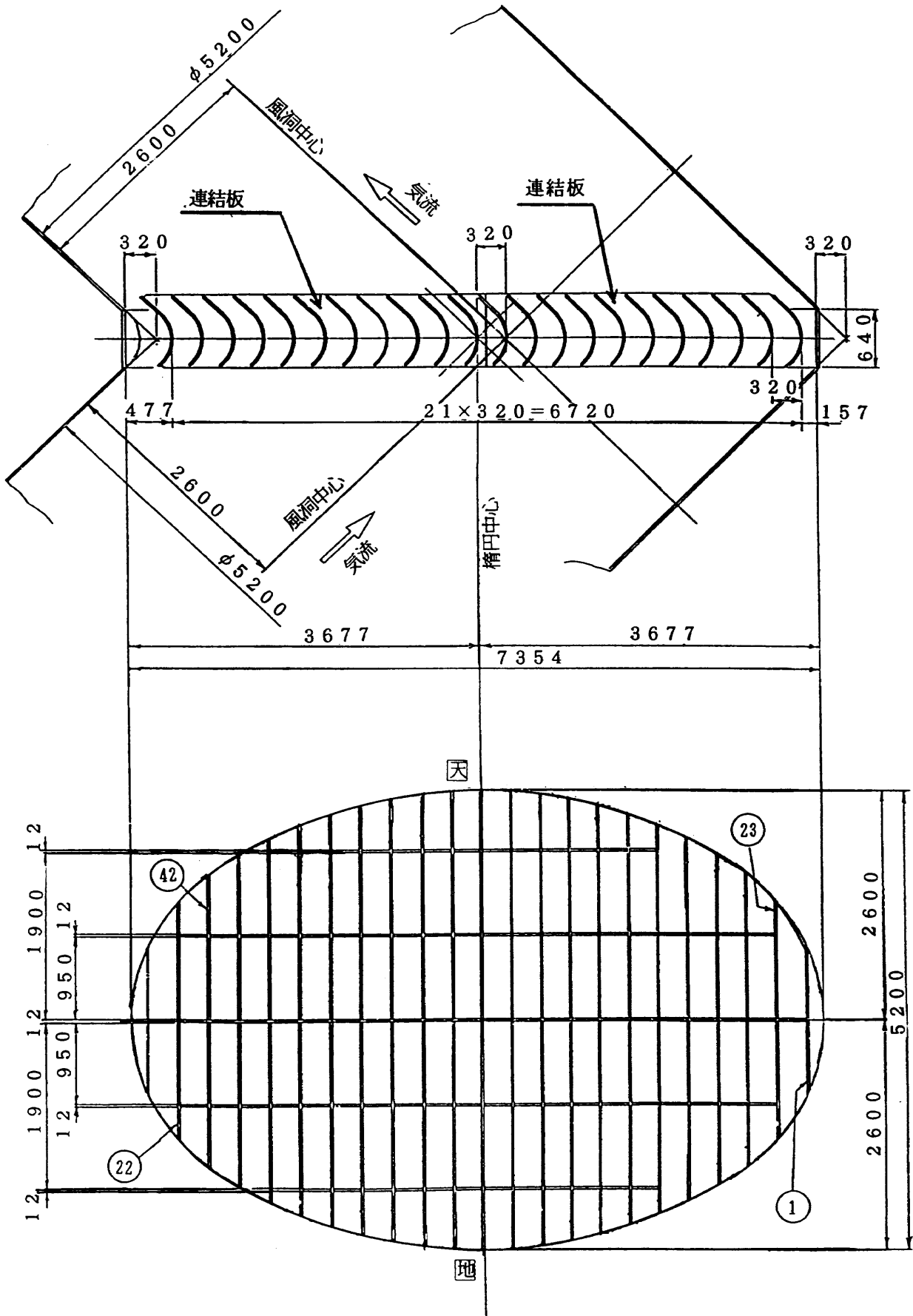


図41 第1屈曲部偏流翼

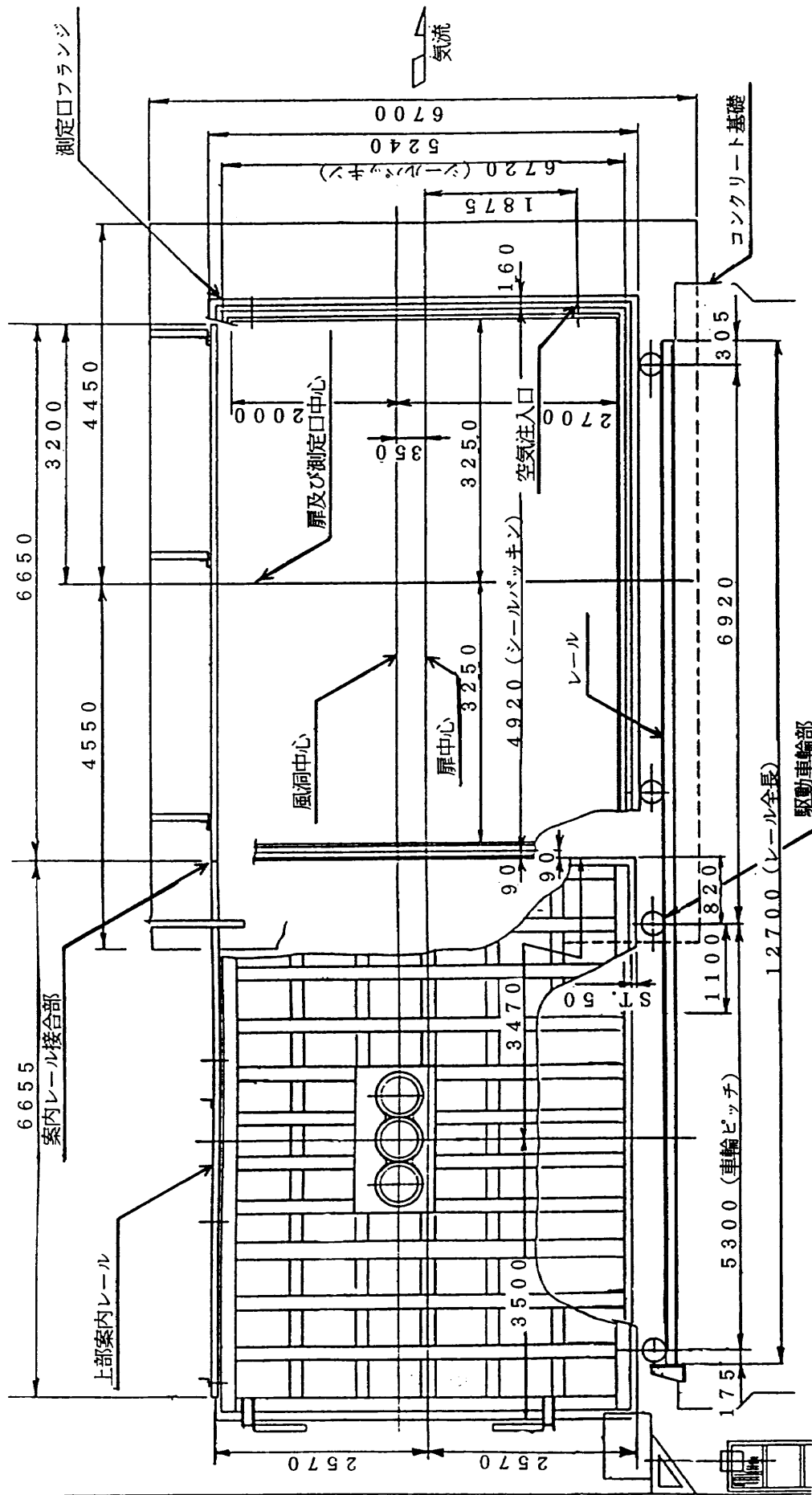


図42 大扉

5 m, 幅 7 m の大きさで図42に示す形状をしている。大扉は扉下の車輪とクラッチで電動機に連結し、床のレール上を移動し開閉操作する。扉が閉じた時には、風洞試験中の胴内の気密を保持するため、風洞入口の外周全体に空気でシールするパッキンが嵌めこんであり、空気を充填してシールを行う。開閉操作は、風洞試験の前後に行うから、ほぼ1日に2回程度である。

従って、頻繁に動作させるものでもないが、重量物の移動と気密の保持などから、扉周辺のエアシールパッキンの劣化、空気洩れ、扉駆動用電動機の異常音、減速機、軸受部からのグリース、油のしみだし等の不具合が見られるようになった。そこで、エアシール部、駆動装置等の分解、点検、修理を早急に行う必要が生じた。改修作業は、次の項目について実施した。

- (1)大扉本体の案内枠を取外し、扉気密用シールパッキン、シュリーレン窓ガラス気密パッキン及び扉緩衝用ゴムの交換を行い、扉案内用ローラーは軸受けを交換し、点検、清掃、組立、調整及び補修塗装を行った。
- (2)駆動装置の車輪、車輪軸及び扉位置決め用リミットスイッチ機構を分解、点検、清掃し、リミットスイッチを交換した。
- (3)駆動速度を早めるため、駆動装置、クラッチ部分の改造と駆動電動機の交換を行い、取付け座を改造し、調整及び補修塗装を行った。
- (4)レールの点検、清掃を行い、摩耗が著しい部分は段差のなくなるように調整した。
- (5)扉案内覆いの分解、点検、清掃を行い、シャッター

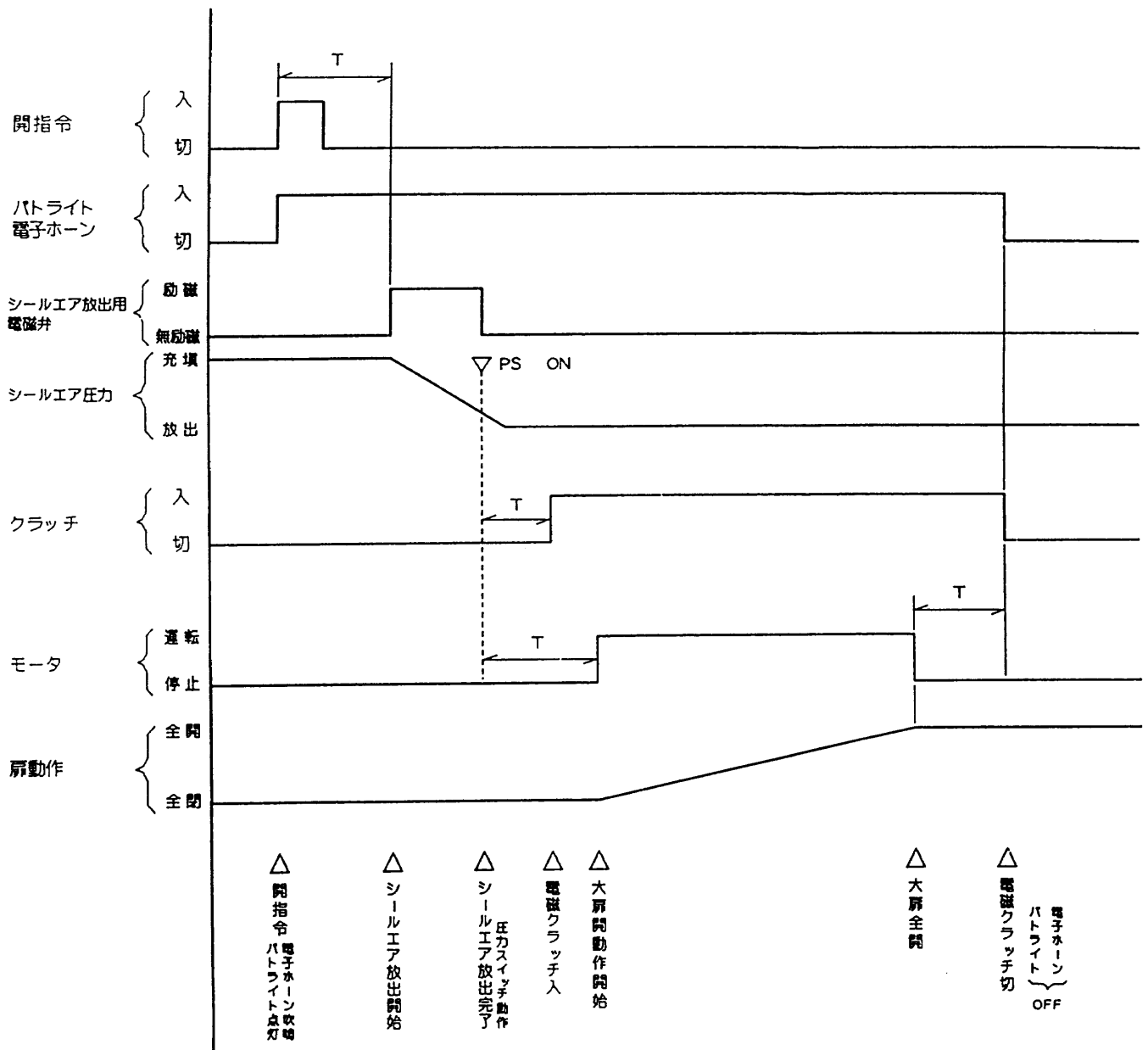


図43 大扉開シーケンス

板を交換したのち、組立、調整及び補修塗装を行った。改修作業後の主な機能は、次の通りである。

- (1)駆動時のクラッチ操作を自動化したため、煩雑な操作が必要なくなり、安全な操作方法となった。
- (2)大扉の重量は約224kNであるが、開閉移動距離が7mなので、開閉速度を2m/分とすると、開閉所要時間は約3分30秒である。駆動シーケンスは、上流、下流ゲートと同じである。
- (3)大扉の開操作は、上流ゲート、下流ゲートと同様にカート室機側操作盤と計測室中央操作卓の両方から個別に動作出来るが、保安上の理由からカート室優先にしているため、カート室機側操作盤のスイッチ選択により、「機側」又は「中央」に切換えて操作する。
- (4)開方向の場合には、操作する時の動作条件として、プリナム室と大扉外側との間に圧力差がないことが必要であり、その場合のみ開動作が可能である。この差圧は専用の圧力計で検出し、大扉開閉の操作条件に組み込み、操作盤にも状態表示を行っている。即ち、開指令のあと、シールエアを放出する時に、差圧が+0.67kPa以上、-0.67kPa以下だと放出せず、それ以降のシーケンスには進まないため、そのような時には事実を確認した後、その条件を満たしてやる必要がある。図43に開方向の時のタイムシーケンスを示す。
- (5)閉方向の場合には、風洞内外の圧力差がないから、何時でも動作可能状態であるが、但し、作業者の閉じ込め等の誤りをしないように、操作場所は機側操作盤からの操作のみとして、保安上の配慮を行っている。
- (6)開閉動作中は、安全確保のため警報ランプと共に、警報音を発して周辺での作業者の注意を喚起している。

4.9 測定胴主制御装置

従来の測定胴制御装置は、測定部における様々な可動部分を、目標とする状態に設定する電気回路として、可変ノズル用、模型支持装置用、測定胴構成部のゲート、大扉、カート等の各々に対応してリミットスイッチ、開閉器、リレー等を組合わせた制御系統を収容する計測制御盤がその中心であった。この制御盤に含まれていた200個近くの回路部品が経年劣化し、リレーの接触不良による焼損や作動不良、開閉器のコイル断線や焼損、コンデンサの絶縁不良、温度ヒューズ異常作動などの故障が頻発するようになった。これらの故障の中には、模型支持装置の暴走につながり、大事故に至る寸前で危うくくい止めたケースが2、3回あった。そこまでいなくても、風洞非常停止や試験の中断、打ち切りをせざるを得な

かった場合もあった。開閉器を例にとると、1日の風洞試験で300回近くの動作が繰り返されるので、仮に10万回を使用限度とすれば2年毎に更新する必要がある。これらの不具合箇所を改修して、一定回数使用後は代替する方を講ずるなどの対策を考えることにした。改修では、従来の制御装置を撤去して、最新のデジタル演算制御方式を取入れた装置に更新するため、基本設計作業の段階では次の事を考慮した。

- (1)各機器の操作方法は、従来の押釦操作によるインテングによる手動設定を廃止し、測定胴主制御装置を新設し、CRT表示を見ながらキーボード操作による自動設定方式に変更する。
 - (2)各機器が関連を持って動作する連動運転を行うように変更する。例えば、実験マッハ数をコンソールから入力すれば、マッハ数制御に関連する可変ノズル、ディフューザーフラップ及び第2スロート等が目標に向かって相互に関連を保ちながら動作するようにする。
 - (3)風洞の全ての運転状況は、計測室で監視するため中央操作卓を新設し、操作卓上のCRTで監視出来るようにする。緊急を要する保安停止要因や風洞運転上必要な信号等は中央監視盤を新設し、盤上に表示する。
 - (4)各機器の操作は、機器の近くでも操作出来るようにする。
 - (5)上位コンピュータからの指令による制御が出来るよう通信機能を有し、計測の自動化を考慮する。
 - (6)改修に含まれない機器で、従来から機側入力で行っているものも電動化、省力化を計るようにする。
 - (7)システムの制御、監視、表示及び操作方法等については、最適なものになるよう十分検討する。
 - (8)既設設備との接続は、機器の性能を損わないように十分考慮する。
 - (9)システムの故障に際しては、速やかに安全側に移行するようなシステムとする。
 - (10)システムの設計にあたっては、人間工学的に十分考慮された機器類を選択して取付ける。
 - (11)中央制御装置と制御者の意思伝達は、対話形式で行うものとする。
 - (12)中央制御装置を制御するプログラムは、現場における最終調整が最小限で済むものとし、その使用言語は高度の知識を必要としない簡単なものとする。
- 全ての設備の改修作業が完了するまで、6年間にわたったので、制御装置についても改修機器に関する機能追加を行ってきた。図44に示した制御系統図が最初の改修作業(その1)で実施したもので、改修作業(その6)まで実施した段階では図45のようになった。

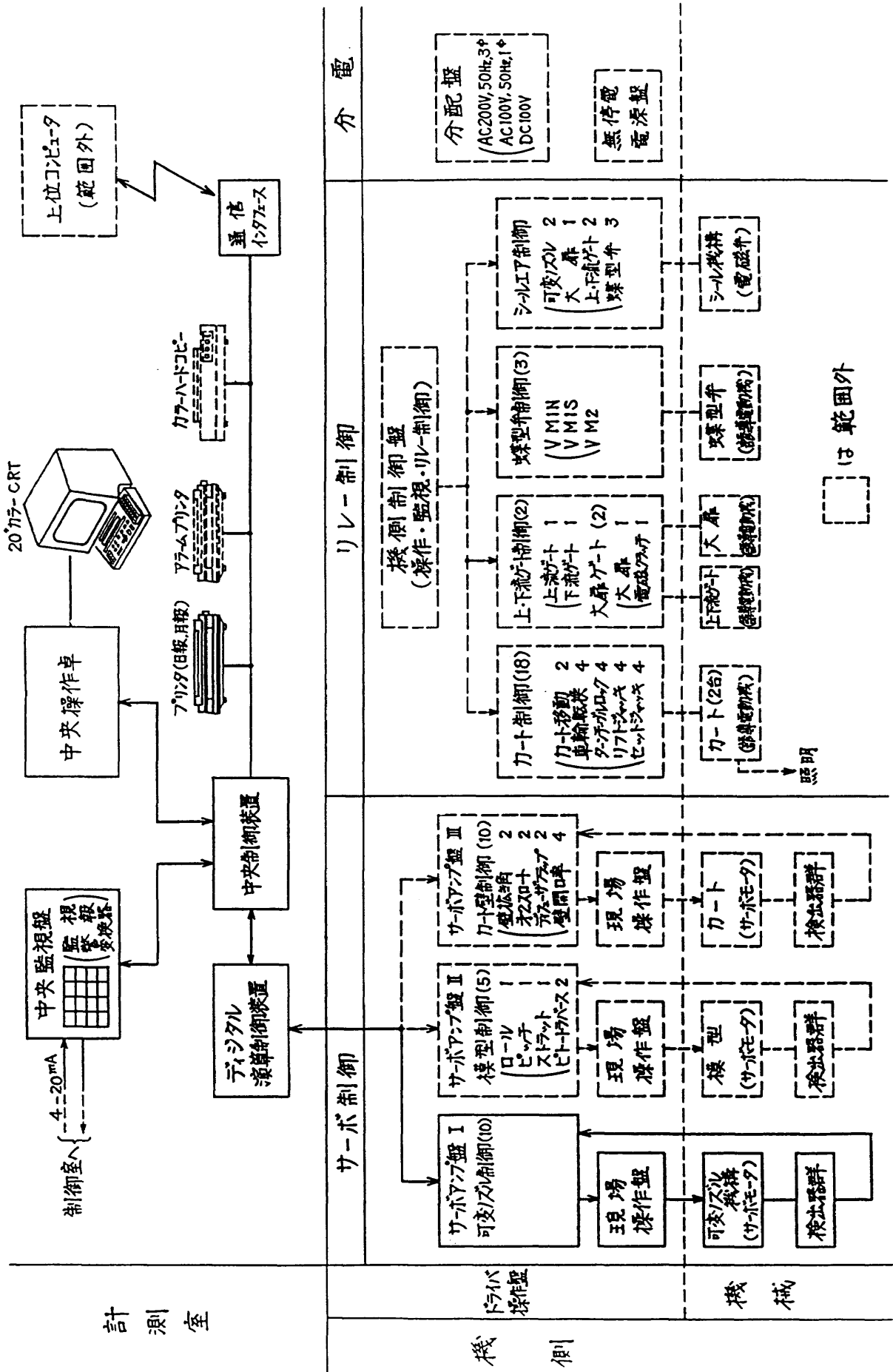


図44 制御系統図 (初期)

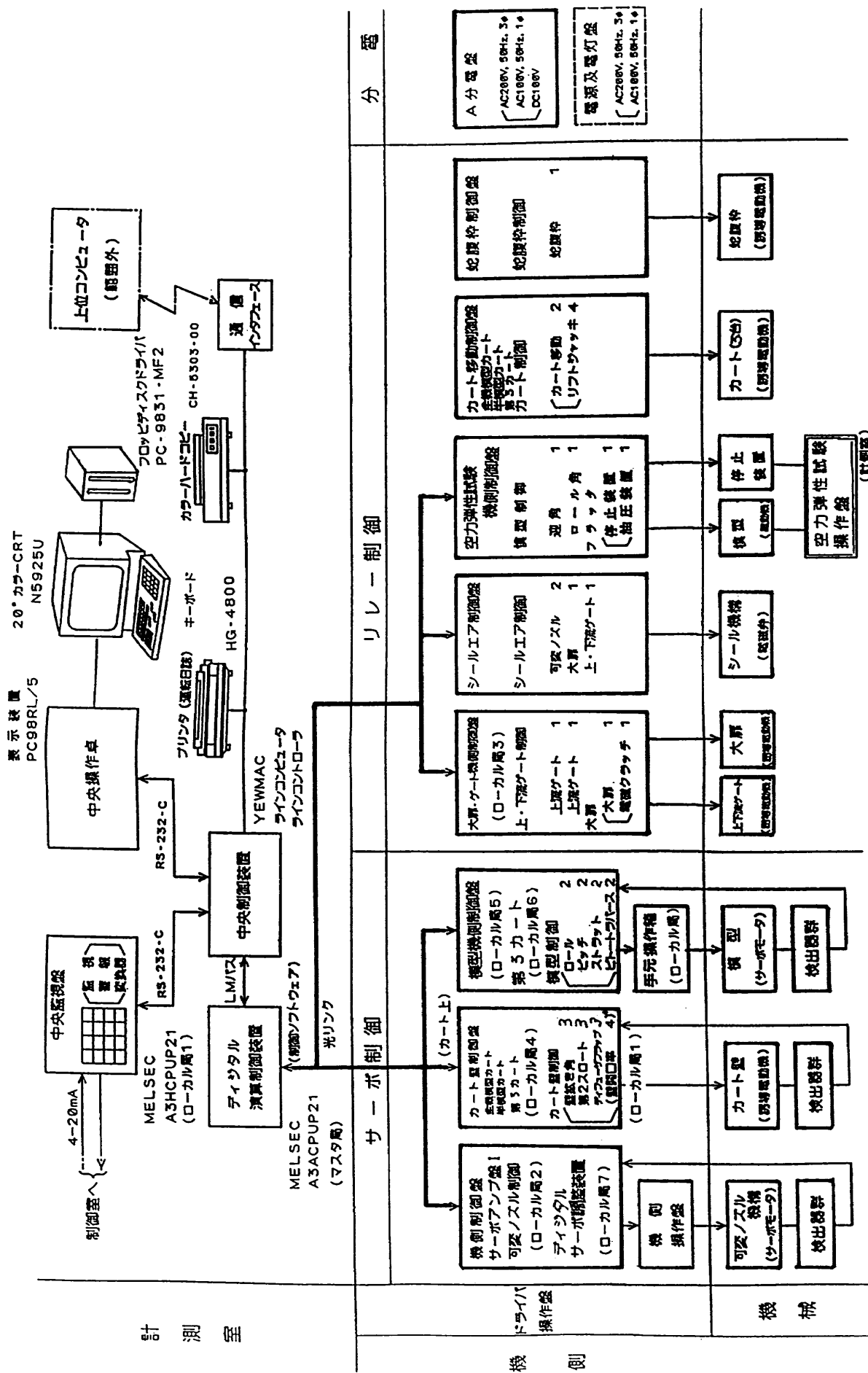


図45 制御系統図 (最終)

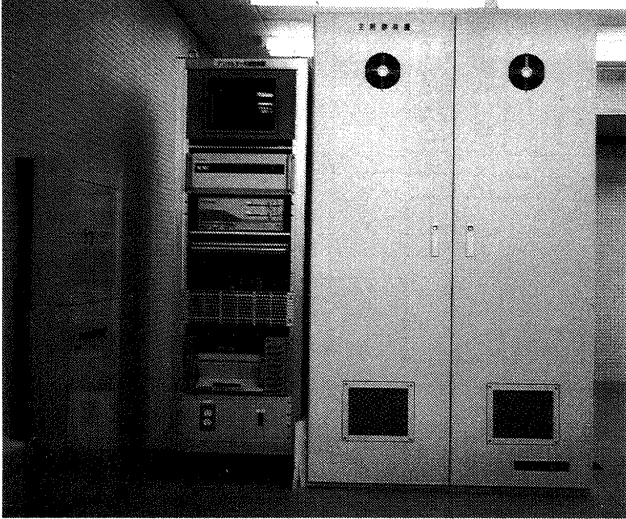


写真1 主制御装置

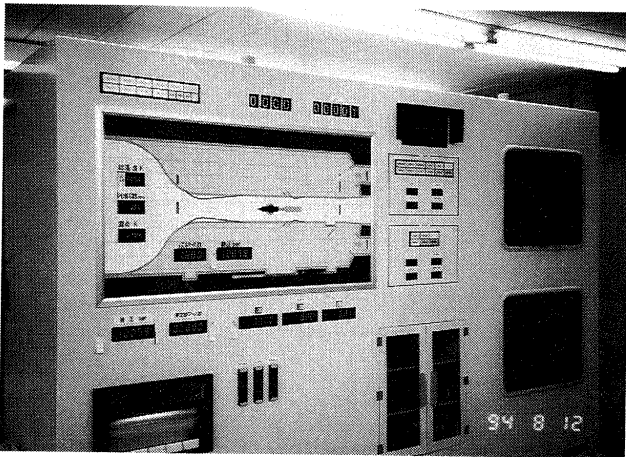


写真2 中央監視盤

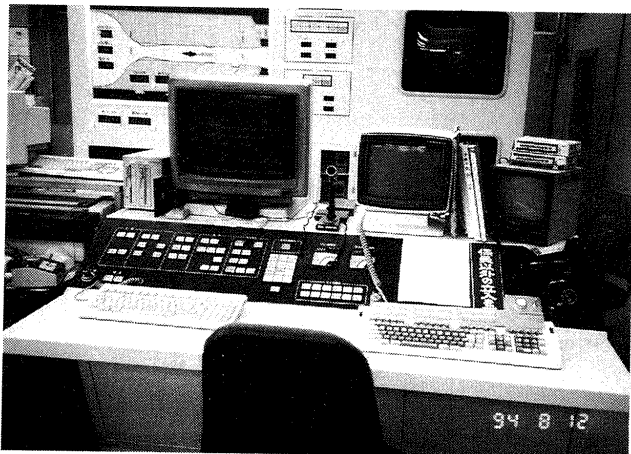


写真3 中央操作卓

メニュー

11/28 13:00

- f 1 : 条件設定 (1.模型姿勢 2.カート壁 3.トレンド項目)
- f 2 : 風洞運転設定
- f 3 : 風洞起動条件
- f 4 : モニター (1.試験条件偏差 2.試験条件現在 3.風洞状態 4.項目選択)
- f 5 : トレンド (1.メニュー 2グラフ)
- f 6 : アラーム履歴
- f 7 : 単独設定 (1.可変ノズル 2.模型姿勢 3.カート壁)
- f 8 : ファイル操作
- f 9 : プリンタ出力
- f 10 : トリム調整 (1.可変ノズル 2.カート壁)

- f 18 : 日付設定
- f 19 : 画面ハードコピー
- f 20 : メニュー

図46 画面操作メニュー

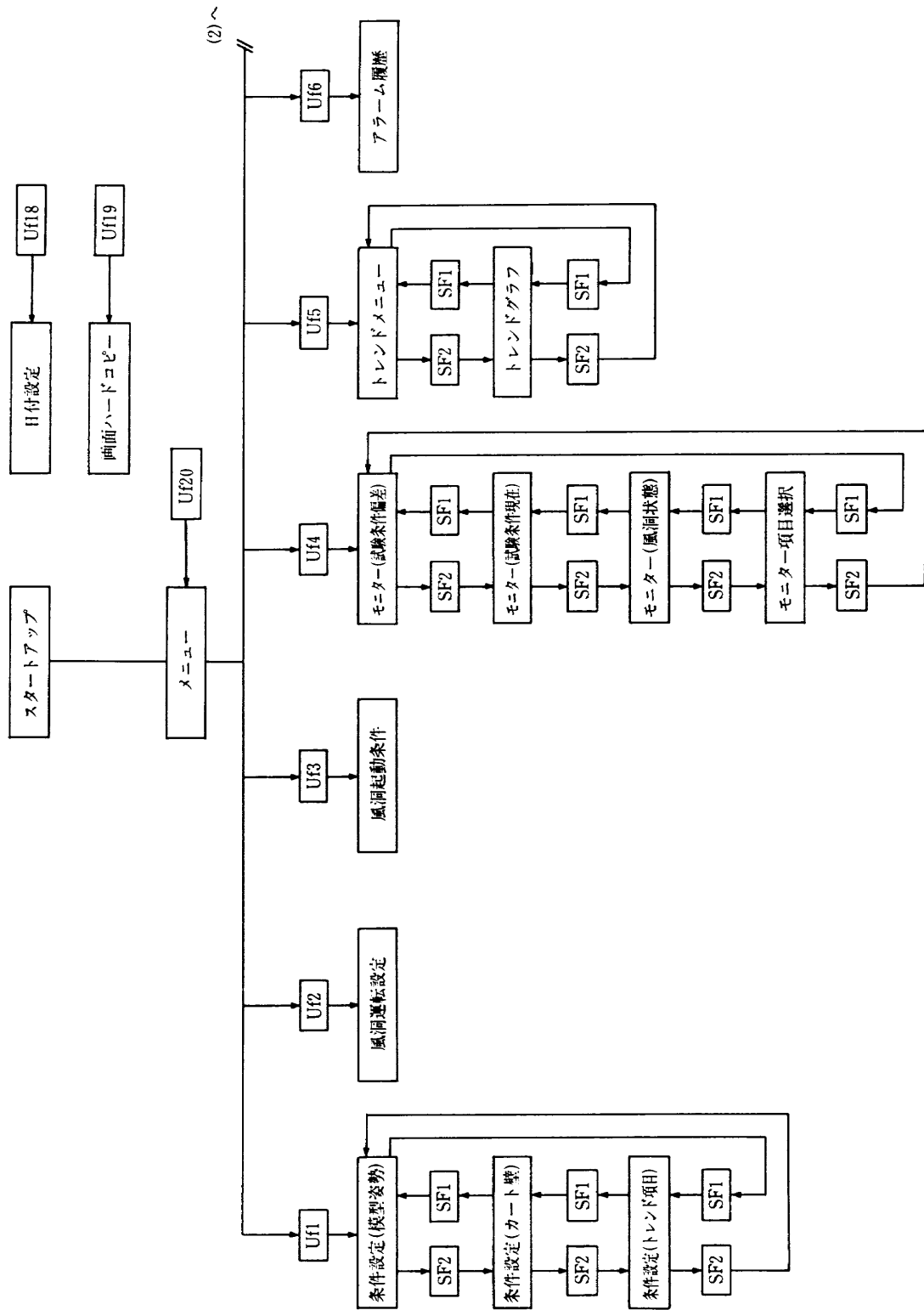


図47 画面操作フローチャート (1)

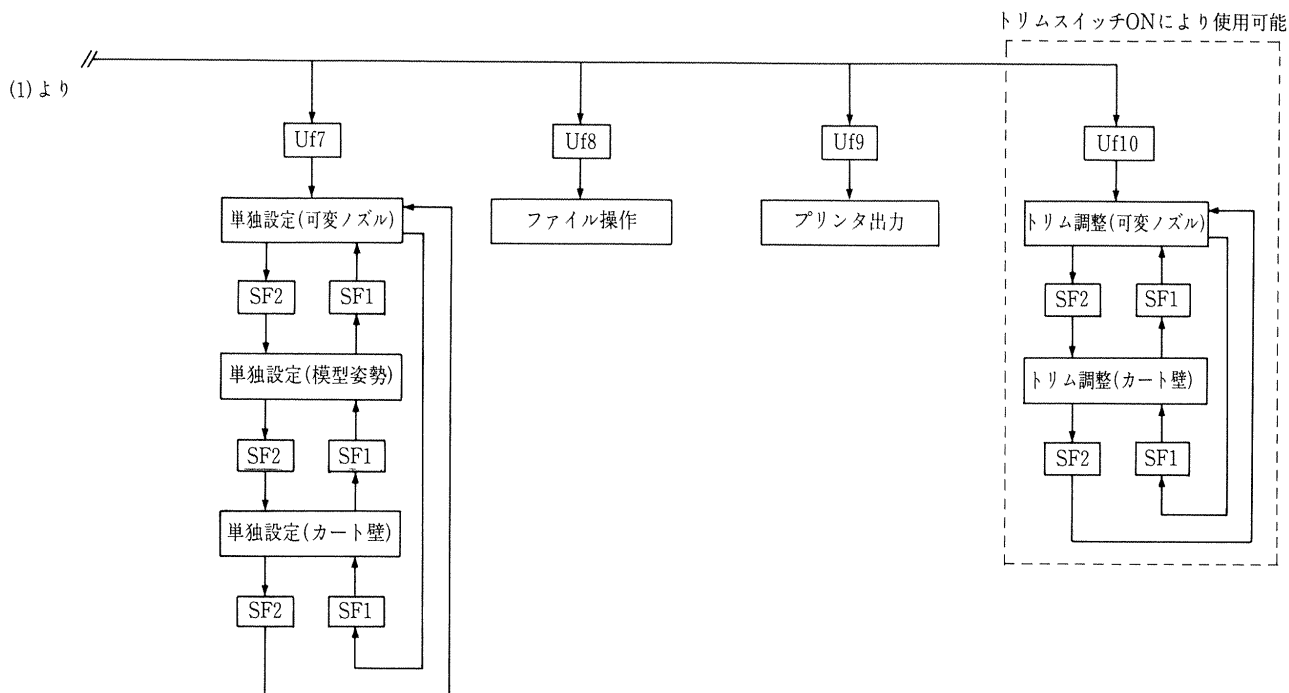


図48 画面操作フローチャート(2)

写真1から写真3に中央制御装置、中央監視盤及び中央操作卓の外観を示す。プログラムの実行は、中央操作卓から運転手順に沿って配置された関数キーの選択によって、希望する画面を呼出し、必要な入力を行うことにより操作できるようになった。図46から図48に画面操作のメニューと、フローチャートを示す。オペレータは、操作したい機器を選択して簡単に操作出来るようになり、制御操作の負担が軽くなり誤操作の度合いが減少した。

4.10 関連作業

(1)計装用接地工事

改修した制御装置の計装用の第1種接地を新設し、保安用の第3種接地を更新した。設置場所は、1階補機室横に行ったが、ステップアース式により、28mmφ×1.3mの電極を全部で30本打込み、第1種用は規定値10Ωに対し、合成して6.9Ωと7.3Ωの2組、動力用は規定値100Ωに対し、29Ωのものが1組で、埋設深度の深いものは10.4mである。

(2)補機室天井工事

1階補機室中央部に、全ての制御関係の盤を設置したので、その部分の床は浮床にして、その下に元電源からの供給電線の引き込みや、他機器への電源供給を行う作業を行った。又、各機器への信号の授受のため、盤の上側に配線ダクトを設けて、2階計測室やカート室と接続するため、建物の天井梁、壁及び柱の部分は盤の冷却用

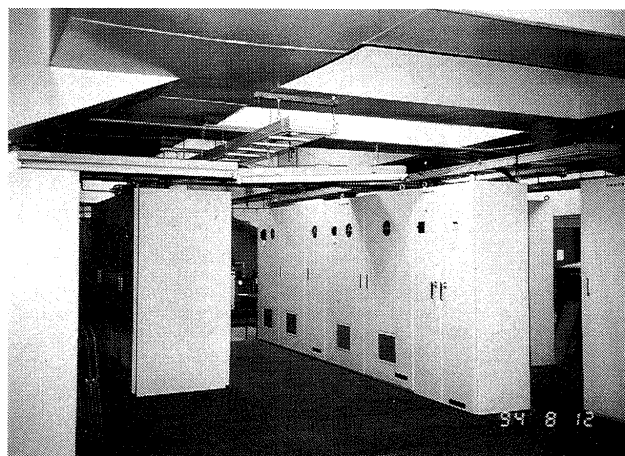


写真4 補機室制御盤

ファンによる塵埃の飛散防止の目的でカラー鉄板で覆った。制御盤を1階に集中したことで、計測装置に対するノイズ等の影響を極力少なくすることが出来たものと思われる。この外観を写真4に示す。

(3)計測室フリーアクセス工事

計測室内の計測装置と中央制御盤及び中央操作卓の間の配線経路を確保するため、計測室内の床を全面フリーアクセス床構造にした。床の範囲は、図49に示す通りであり、出入口部分には物品の搬入、搬出を容易にするためスロープを設けた。制御機器及び計測機器の設置箇所には配線取り出し口を設けた。

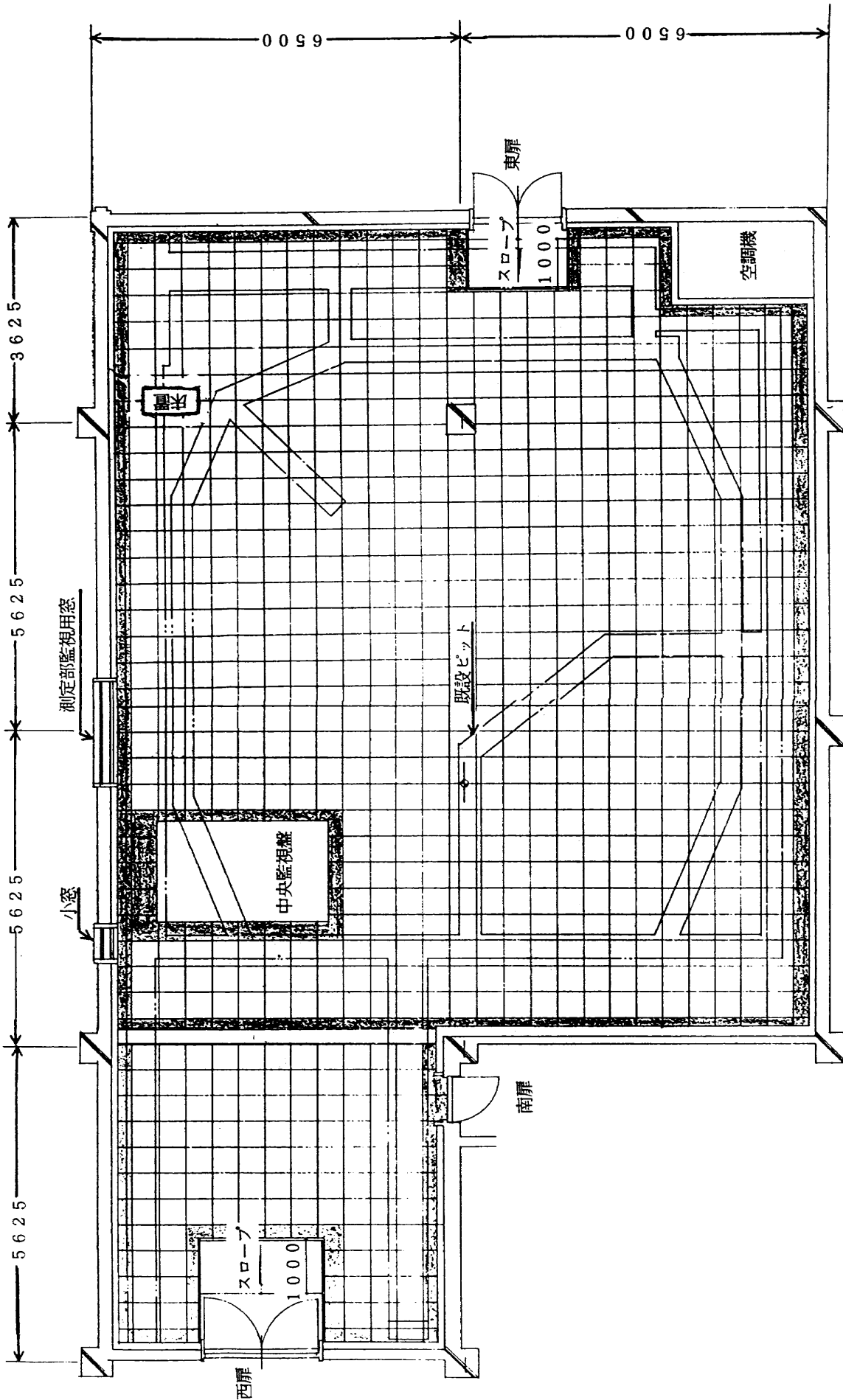


図49 計測室フリーアクセスス床

床材料は、表面を帯電防止を施したビニルタイルで、床から0.2m高さとして、集中荷重 5 kN以上、最大積載荷重20kN以上の耐荷重のアルミダイカスト製の0.465m×0.465mの大きさのものとした。支持脚は、耐震構造を有するものを使用し、床カットの広い部分と既設のピット部分には補助支柱を設置した。

この結果、計測機器への接続は床下を通して目的の計測器まで配線出来るので、歩行者の安全が確保された。

天井の照明の改善と共に、空調機も更新して、天井に吹き出し口を持つ冷房能力11,000kcal/時間以上、暖房能力12,000kcal/時間以上、騒音400dB以下、空冷ヒートポンプ式のを4台設置し、カレンダー付タイマーで入切する方式にしたので、計測機器のウォームアップが容易に出来るようになった。

(4)胴体貫通部配線

計測室と測定部内、1階補機室と測定部内を結ぶ計測用と制御用の配線は、写真5に示す場所でMCT(マルチケーブルトランジット)を介して行った。この配線部分

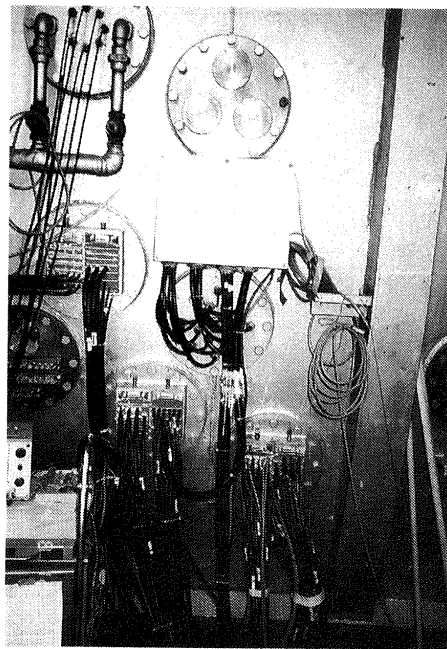


写真5 MCT配置

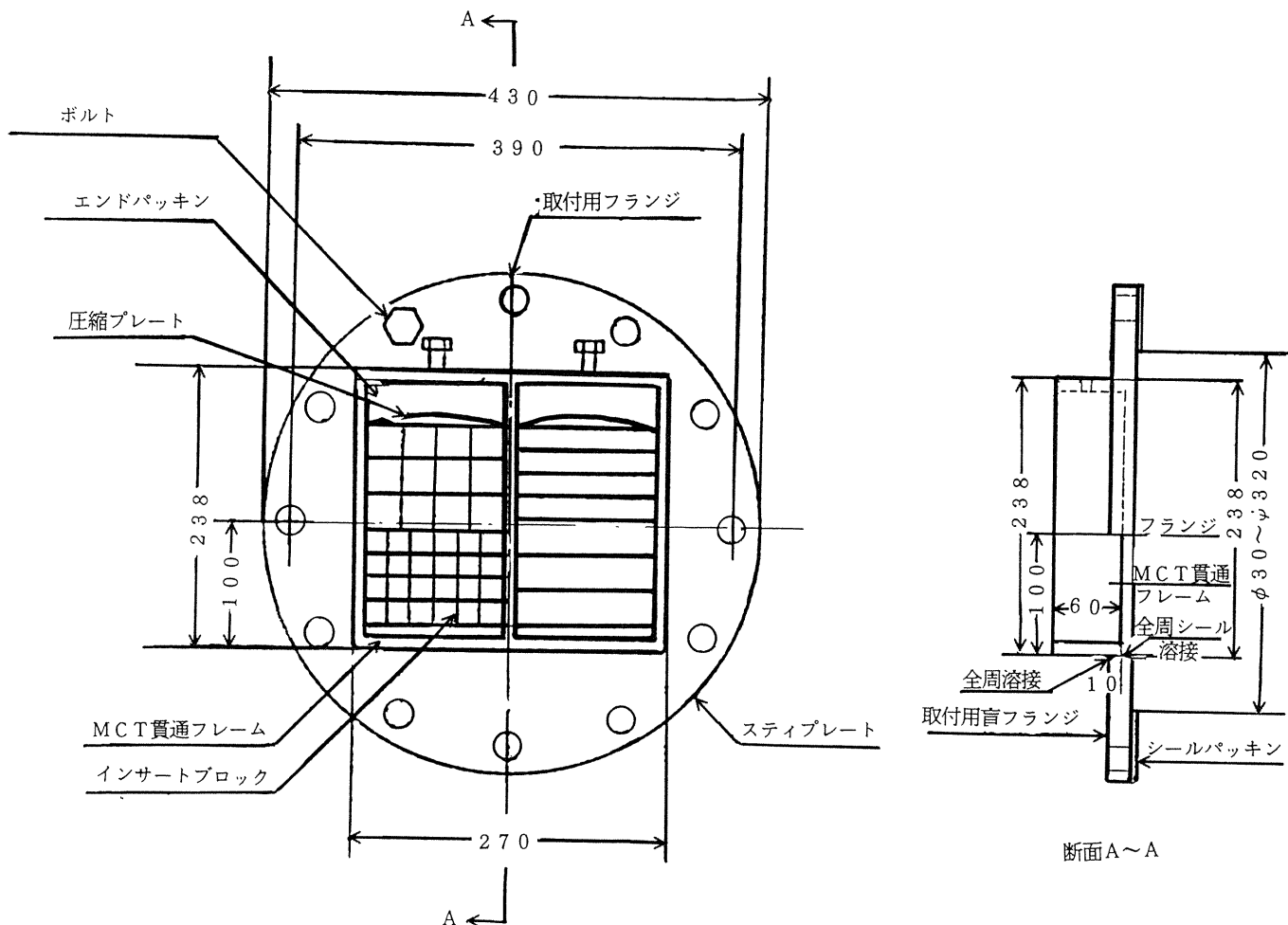


図50 MCT

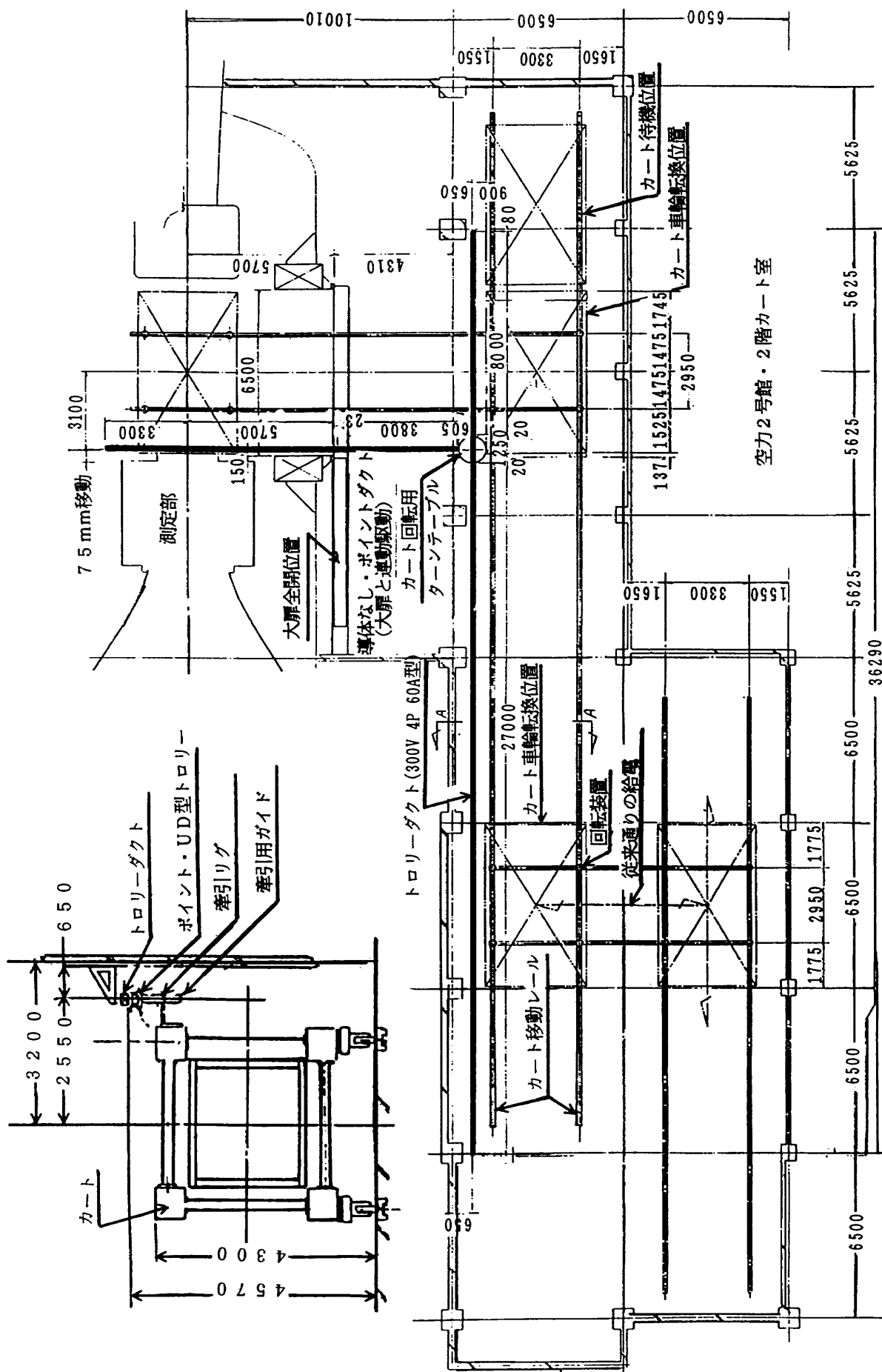


図51 トロリーダクト

は、測定部と外部との接続点なので、気密が保たれなければならない。即ち、測定部内の圧力は風速に応じて変化するので、一般的に20kPaから150kPa程度の圧力変化に対して、十分に密閉されていないといけない。図50に外観を示す。MCTは、ケーブル太さに合わせたゴムシール材（インサートブロック）で包んでから、上部から圧縮プレートを使って締め付け固定するのでケーブル周囲からの洩れは全然ない。MCTの余った部分には、充填材を補充した盲蓋のエンドパッキンを絞め込むので、その部分の洩れもなくなる。

従来の方法では、貫通部の穴とケーブルとの間は、シール材や粘土等で洩れがないようにしていたが、それらが固化してくるにつれて洩れ易くなるがあったが、

今回改修された部分についてはそれらの不具合は解消された。

(5)カート移動用トロリーダクト

カート移動は、カート室及び測定部に敷設されたレール上をカート自身が持つ移動用電動機を使い、カート上の制御盤を操作して行う。この移動の時に必要となる電源は、カート室と測定部の2箇所に設置した分電盤にケーブルコネクタを接続して供給していた。このケーブルは、移動範囲をカバーするために十分な長さを必要とするため、移動中は常時誰かが見張りとしなければならない。それでなくても、カートは大きくて目の届かない部分があるし、約400kNもある重量を考え

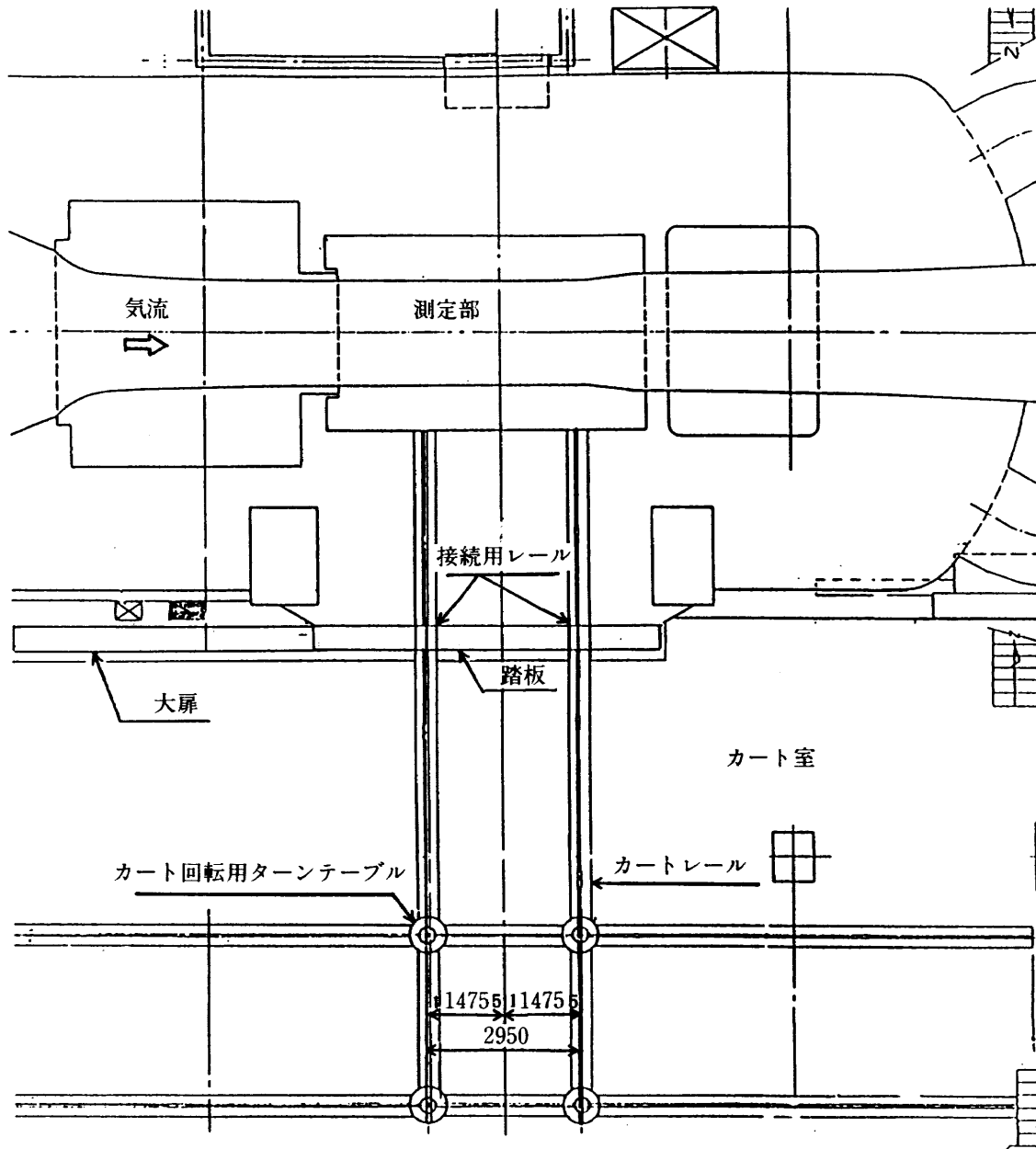


図52 大扉接続用レール踏板

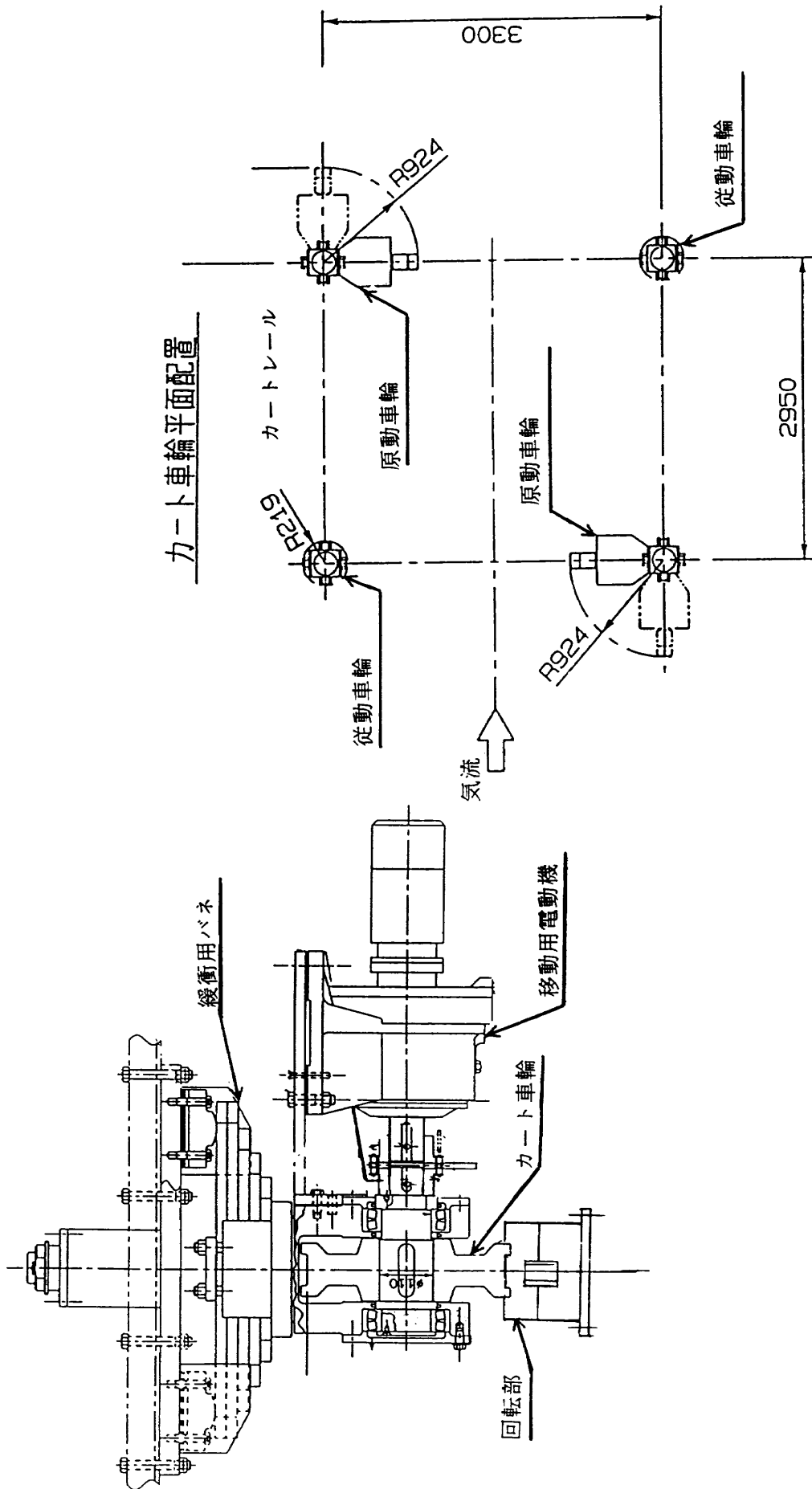


図53 カートレール回転部

ると、1.5m/分と移動速度は遅いが移動中はかなり周囲に神経を使う作業である。

そこで、このケーブル接続方式を改修して、カート室天井から電源を供給するトロリー方式にすることにした。電源の配線は、カート上の高さ約5mのところに設置し、その配線溝の中をカート毎に取付けたトロリーが移動出来るようにした。この外観図を図51に示す。これによって、従来はカート移動時に3人は必要だったが、十分注意して作業すれば1人でも楽に出来るようになった。

4.11 その他の検討事項

実施した改修作業は、前項までのおりであるが、それ以外にも改修が必要な装置がある。この未解決になっている装置の現状について記述する。

(1)大扉接続用接続レール及び踏板

カートの測定洞内への出入りに際しては、大扉を全開したのち、大扉が開いたあとにカート走行用のレールを大扉と直角方向に敷設して、その上を移動するようになっている。この操作は、同じ平面上で交差させるか、立体交差にさせるかすれば解決する。この風洞の場合、その何れも難しいので、カート用レールを跳ね上げるか、回転させるかの手段が考えられる。図52にレールを敷設した状況を示す。通常は、チェーンブロックを操作してレールを設置している。また、大扉を開けて人間が通行する時には、安全のために踏板を渡すが、約60cmの板が11枚もあり、人力で1枚ずつ行うのは大変な作業である。したがって、両方の操作性を考えた装置の改修が必要である。尚、大扉を閉にした時は、扉後端に接続したシャッターで覆いをするようになっている。こちらは開側と異なり人間や品物の搬入、搬出をしないので、品物の落下のみ防ぐ構造となっている。

表7 遷音速風洞測定胴設備の保守計画

点検機器・作業内容及び項目	頻度
(1)測定胴主制御装置	
①主制御装置、中央中央操作卓、中央監視盤、制御盤8台、アンプ盤2台、分電盤2台の清掃、点検、調整	毎年
②バッテリー、リミットスイッチ、リレーの交換、調整	3年毎
③CRTモニター、ビデオ、ITVモニター、表示ランプ、表示メーターの交換、調整	5年毎
④コンピュータ、記録計、プリンター、シーケンサー、ブレーカー、コンタクターの交換、調整	10年毎
(2)可変ノズル	
①電動モータ10台、電動ジャッキ20台の清掃、点検、調整	毎年
②壁の形状計測、応力検出器の校正、調整、壁の浸透探傷試験	3年毎
③リミットスイッチ、リレー、シール、パッキンの交換、調整	3年毎
④ボールネジ、カップリング、ベアリングの交換、調整	5年毎
⑤モーター、減速機、軸受、信号変換機の交換、調整	10年毎
(3)測定胴要素 (整流金網、上下流ゲート、大扉、蛇腹棒、第1偏流翼)	
①6設備の清掃、点検、調整	毎年
②リミットスイッチ、リレー、シール、パッキンの交換、調整	3年毎
③ボールネジ、銅ブッシュ、軸受の交換、調整	5年毎
④モーター、減速機、信号変換機の交換、調整	10年毎
(4)測定部本体(第1、第2、第3カート)	
①カート3台の清掃、点検、調整	毎年
②リモットスイッチ、リレー、シールパッキンの交換、調整	3年毎
③壁形状の計測、調整及びボールネジ、銅ブッシュの交換、調整	5年毎
④ベアリング、モーター、減速機、信号変換器の交換、調整	10年毎
(5)模型支持装置(第1、第2、第3カート)	
①カート3台の模型支持装置の清掃、点検、調整	毎年
②リミットスイッチ、リレー、シールパッキンの交換、調整	3年毎
③ボールネジ、カップリング、ベアリングの交換、調整	5年毎
④モーター、減速機、軸受、信号変換機の交換、調整	10年毎

(2)カートレール・回転装置

カートは、移動の途中で方向変更する時には所定の位置で停止させ、車輪を回す必要がある。移動方向は、東西か南北の何れかである。図53に示すように回転位置まで来ると、リミットスイッチによりカートが停止する。回転部のロックピンを外して、カート移動車輪に回転用の棒を取付けて、人力で回転する。ロックピンを差込み固定する。これを4輪とも順次行っていくので、大変な力作業である。この作業を解決するためには、レール回転部か、カート車輪側を細工する必要があるが、カート重量、車輪の高さ、レール敷設部のスペースが問題となり解決に至っていない。

(3)測定部連絡通路

測定部への出入りは、大扉かマンホールを開けて行くかの何れかである。しかし、緊急の場合や品物の運搬の時に不便な時がある。そこで、大扉下流側に小扉を新設し、測定部及びカート室の両方にデッキを渡すことが考えられた。カート室側のデッキには、簡易計測が出きるように防音を兼ねた囲いを付ける。小扉の大きさは1.5m×2m程度とし、大扉と同じようにスライド方式にして、エアシールパッキンによるシール法とする。しかし、その部分には大扉の補強材と測定部の補強材等が交差していて、これらを撤去しないと無理なスペースを必要とするため、今回の改修作業では実施しなかった。例えば、再導入口部分の風管をそっくり撤去する作業が行われれば、そのスペースに十分収ると考えられるので、実行出来るものと思われたが、今後の課題として残されている。

5. 今後の課題

これまで述べたように、遷音速風洞測定胴設備の改修作業が完了したので、今後、これらの設備の性能を維持するために必要な部品交換、寸法測定、故障検査及び修理後の調整等の保守作業について、作業項目、作業内容等の年次計画を作成して、それに沿って具体的な作業を実施することにした。表7にこれらの作業内容と作業頻度を示す。これらは、明確に分る作業項目について分類しただけなので、今後出現する新しい問題や、機能向上の要求等には、適宜対応出来るように考慮しておく必要がある。次に風洞実験の作業手順から見ると、年2回(夏、冬)の保守・点検を除いて、遷音速風洞での試験は毎週、または2週毎位の頻度で依頼者が変わる。これに応じて、カート交換、模型取付等の作業も頻繁に行われ、試験計測内容も連続風洞の利点を生かして多様である。そういう意味から、今回の改修作業によって作業が軽減され、省力化が行われたことの価値は大きい。

しかし、全ての作業が一人で出来るようになった訳で

はなく、また、保安上からも複数の作業者の協力を必要とする場合がある。両者を満足するような、設備の維持管理方法を引続き検討していく必要がある。

6. まとめ

- (1) 遷音速風洞測定胴設備の老朽化に伴う不具合箇所の点検、整備、改修作業を実施して、従来のアナログ制御方式からデジタル制御方式に更新して、大幅に自動制御を取入れて省力化を実現した。
- (2) 全ての機器状態は、計測室の中央制御盤、中央操作卓に集中表示され、機器操作は中央操作卓での指令によるものと、機器の近くの機側制御盤からの指令で動作出来るようにしたので、保守管理と保安上の面からも取扱いやすい構成となっている。
- (3) 風洞運転制御に関わる情報は、運転制御室の送風機制御機器と信号の授受を行い、時々刻々、情報伝達しながら運転するので、マッハ数の設定等も簡単に出来るようになり、自動制御による風洞試験が可能となった。
- (4) 計測装置との信号ラインの接続により、計測装置のデータ取り込み確認、次の試験ケースに連続する自動設定による省力化運転が可能となった。
- (5) 機器制御用の制御盤は、1階補機室に集中させたので、測定部入口附近の空間が確保され、新しい試験法や、新しい試験装置と計測装置の設置が可能になった。

引続き、改修後の風洞特性を求めること、効率的な運用を図ること、操作マニュアルを完備すること等が課題である。

最後に、今回報告した遷音速風洞測定胴改修作業は、川崎重工業株式会社の原動機事業部をはじめ、同社の方々の御尽力を頂きました。又、本改修作業の計画段階から改修作業完了時まで長期間に亘り、遷音速風洞の関係者をはじめ、多くの方々の御尽力を頂きました。

特に遷音速風洞制御研究室をはじめ空力性能部、管理部の関係の方々には多大な御指導と御協力を頂きました。ここに皆様に厚く感謝の意を表します。

7. 参考文献

- (1) 航空技術研究所；航空技術研究所2m×2m遷音速風洞の計画と構造，航空技術研究所報告TR-25，Mar 1962.
- (2) 鈴木正光，唐沢敏夫，小松行夫，末永尚史，戸田亘洋；航技研2m×2m遷音速風洞送風機設備の更新について，航空技術研究所資料TM-656，Jur. 1993.
- (3) 馬場滋夫，末永尚史，鈴木正光，戸田亘洋；航技研高圧貯気槽設備の更新について（第4高圧貯気槽設備の計画と構成），航空技術研究所資料TM-634，Mar. 1991.

- (4)小松行夫；排風機設備更新完了，航技研ニュース，Dec. 1988.
- (5)唐沢敏夫，末永尚史，鈴木正光，小松行夫，戸田巨洋；2m×2m遷音速風洞用補助送風機設備の更新について，航空技術研究所資料 近刊
- (6)遷音速風洞計測研究室；2m×2m遷音速風洞・測定胴の改修作業始る，航技研ニュース，May. 1990.
- (7)航空技術研究所；18cm×18cm遷音速風洞整備試験，航空宇宙技術研究所資料TM-6，May 1962.
- (8)三堀進，井上政一，白井正孝，鈴木正光，藤田敏美；ディヒューザーフラップによる抽気を用いた2m×2m遷音速風洞のマッハ数制御，航空技術研究所資料TM-551，Sep. 1978.
- (9)白井正孝，中村正剛，鈴木正光，鈴木弘一，小池陽，神谷信彦；航空宇宙技術研究所，2m×2m遷音速風洞の省電力運転法の研究，航空技術研究所報告TR-847，Dec. 1984.
- (10)小池陽，細江信幸，中村正剛，小国保男，鈴木弘一，唐沢敏夫；遷音速風洞における測定部模型支持装置周りの気流特性，航空技術研究所資料TM-657，Jur. 1993.
- (11)小池陽，細江信幸，小国保男，鈴木弘一，三輪等；航技研遷音速風洞測定胴改修 その1. 第1屈曲部偏流翼改修と応力測定，航空技術研究所資料TM-651，Dec. 1992.

航空宇宙技術研究所資料674号

平成7年1月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) 〒182
印刷所 株式会社実業公報社
東京都千代田区九段北1-7-8
