

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-698

2m×2m遷音速風洞用補助送風機設備の更新

唐澤敏夫・末永尚史・鈴木正光
小松行夫・戸田亘洋

1996年8月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

2m×2m遷音速風洞用補助送風機設備の更新*

唐澤敏夫*¹ 末永尚史*¹ 鈴木正光*¹
小松行夫*¹ 戸田亘洋*¹

Renewal of the Auxiliary Blower System NAL 2m×2m Transonic Wind Tunnel*

Toshio KARASAWA*¹, Hisashi SUENAGA*¹, Masamitsu SUZUKI*¹,
Yukio KOMATU*¹, Nobuhiro TODA*¹

ABSTRACT

The auxiliary blower system is one of the parts needed to achieve transonic flow in the NAL 2m×2m Transonic Wind Tunnel. This system was replaced in 1990 ~ 1992. The reconstructed blower is the 8,000 kW axial compressor with adjustable stator blades. Thereby, the blower controls aspirate itself in the air from the perforated test section. During the replacement, efforts were made to increase its energy efficiency, to simplify the total system, and to accomplish the automatic control of Mach number. This report describes the operation and maintenance of the old system and the design, construction and initial test results of the new system.

Key Words: Transonic wind tunnel, Auxiliary blower system, Mach number control

概要

遷音速風洞特別改修の一環として、平成2年から平成4年にかけて、補助送風機設備を更新した。更新工事は、単に老朽化した設備の活性化を目的とせず、旧設備の運用上で問題点とされていたことを解消して機能向上に努めた。測定部からの抽気量制御方式を検討することによって、従来のバイパス方式から送風機本体が有する容量調節機構で行なう方式に変更した。また、設備の近代化を推進する技術の採用等により、設備の消費電力軽減、簡略化、保守の負担低減、マッハ数自動制御の確立等の多くの成果を本工事で得ることが出来た。本報告は、更新に至る迄の経緯、新設備の概要及び更新成果について報告する。

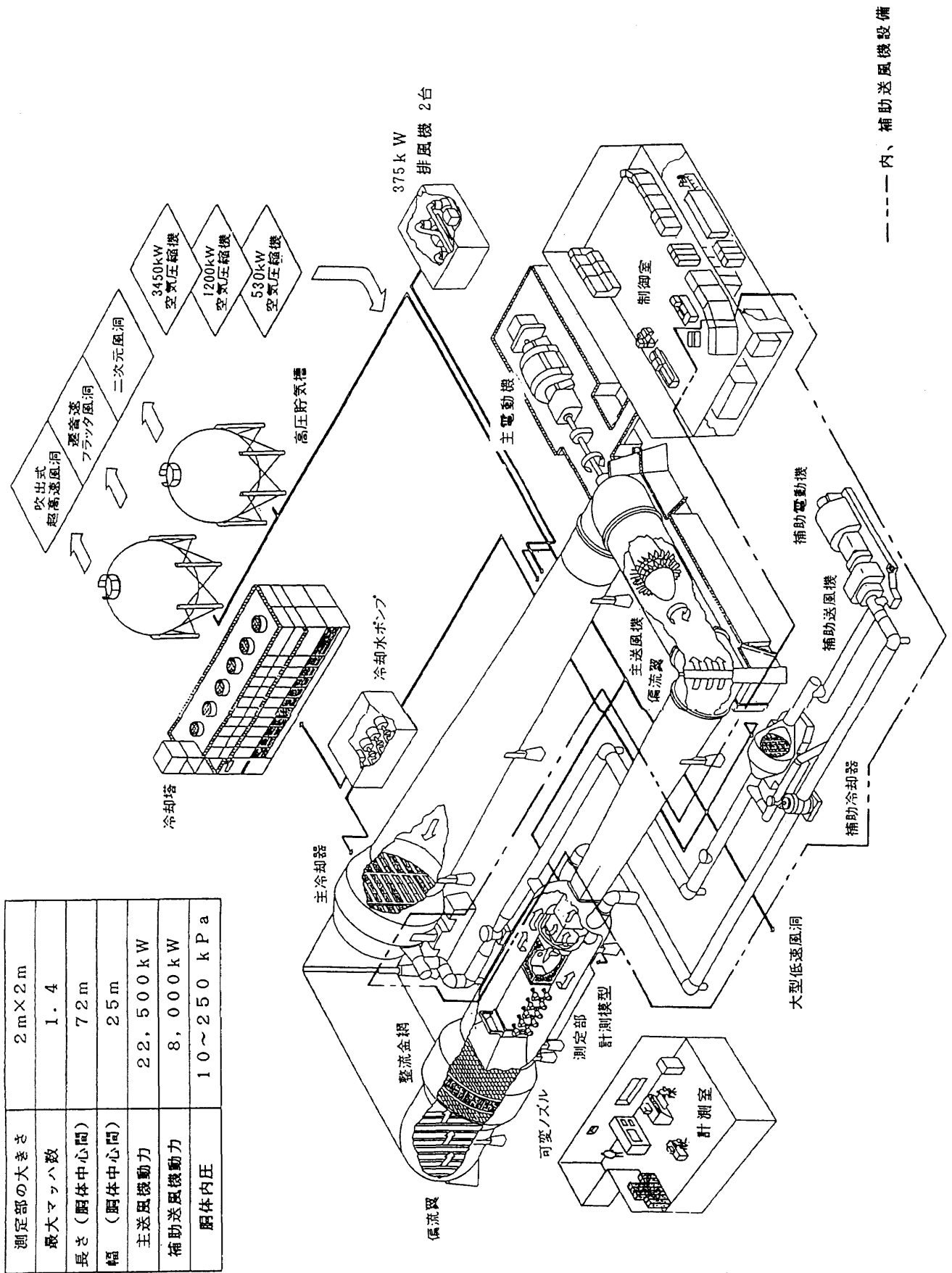
1. まえがき

航技研2m×2m遷音速風洞¹⁾には、測定部の一様流に遷音速領域(マッハ数0.8~1.4)を得るために、主送風機設備と帶動運転を行い、測定部からの抽気量を多段軸流圧縮機(以下送風機)の流量を利用して調節(マッハ数制御)する補助送風機設備が設置されている。図1.1に航技研2m×2m遷音速風洞設備概略図を示す。

本風洞は、昭和35年以来我が国唯一最大の開発用設備として稼働してきたが、30年を経過し、設備全体の老朽化が進んでいた。設備の活性化、近代化の推進、運用の簡略化、経済性の向上及び保守の負担軽減を目的とし、昭和60年度から遷音速風洞特別改修が順次すすめられ、その一環として補助送風機設備更新工事が平成2年度に着手され、平成4年9月末をもって完了した。

従来の補助送風機設備は、測定部の一様流を一定に保つために抽気量制御にバイパス制御方式を採用していた。(詳細は文献1)を参照)測定部多孔壁から吸い出される空気は、抽気室に設けられた仕切弁(VM1A・B弁)を経

* 平成8年6月11日受付(received 11 June 1996)
* 1 空力性能部(Aircraft Aerodynamics Division)



測定部の大きさ	2 m × 2 m
最大マッハ数	1.4
長さ (胴体中心間)	7.2 m
幅 (胴体中心間)	2.5 m
主送風機動力	22,500 kW
補助送風機動力	8,000 kW
胴体内圧	10 ~ 250 kPa

----- 内、補助送風機設備

図1.1 遷音速風洞設備概略図

て、抽気量制御弁(VA1弁：マッハ数を制御)にて調節されて、増速装置を介して電動機駆動による高速定速回転で一定流量を確保している送風機に吸込まれて、風洞集合胴総圧まで圧縮され吐出される。

高温になった空気は、空気冷却器によって規定温度まで冷却された後、吐出側風路遮断弁(VM3弁)を経て主胴体の主送風機用冷却器下流部に戻される。

なお、送風機の圧力制御用(流量確保)として、空気冷却器から出た空気の一部を吸込み管に戻すバイパス管が設けられており、この途中に設けたバイパス量制御弁(VA2弁)で吐出圧力が一定となるように調節されている。

更新工事の範囲は、補助送風機設備の空気冷却器、空気配管、仕切弁(VM1A・B弁, VM3弁)、冷却水給排水配管、潤滑油用上油槽、送風機基礎を除く全てである。また、このような流用機器があることから更新機器の位置も変っていないので、新旧の設備では、大差のない配置となっている。図1.2に補助送風機設備の配置図を示す。

新補助送風機に全段静翼可変方式を採用することによって、送風機吸込み流量の調節(容量調節)が可能となり、バイパス流量を低減することに努めた。さらに、送風機本体で測定部抽気量を直接制御することや、送風機的设计流量を削減するなどの新たな設計指針を取入れることにより、旧設備に比べ約50%の消費電力の軽減に成功するなどの多くの改善点を得ることが出来た。

本報告は、設備更新の経緯、設備概要、更新設備の性能、改善結果について述べる。

2. 記号

M	: マッハ数	
θ	: 静翼開度	度(deg)
P_0	: 集合胴総圧	kPa
P_2	: 送風機吸込み圧力	kPa
P_3	: 送風機吐出圧力	kPa
P_3/P_2	: 送風機圧力比	
Q_2	: 送風機吸込み体積流量	m ³ /h
ΔP	: 送風機入口ケーシング部差圧	kPa
T_2	: 送風機入口温度	°C

3. 更新に至る迄の経緯

3.1 更新理由

長年の稼働により、旧設備は老朽化が著しく進行しており、定期点検や部分的な修理等による保守を行いながらの運用であったが、設備全体が旧式化しており、補給部品の確保も困難になっていたため、早急な設備更新が必要であった。

また、本設備の仕様範囲としては、集合胴総圧120kPaまでの能力があるにもかかわらず、集合胴総圧を高くしての運用は、設備に対しての負荷も増すことになり、設備の老朽化の進行を促進させる危険性があるため、集

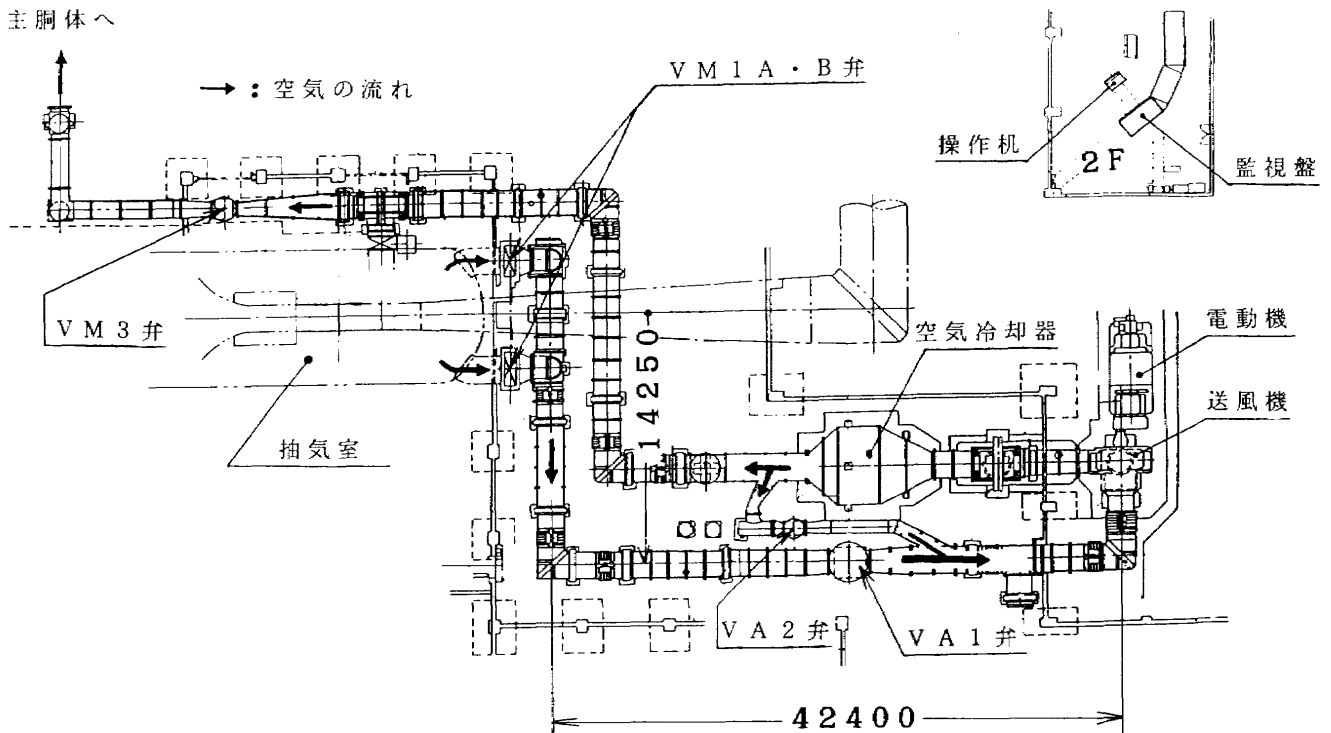


図1.2 補助送風機設備配置図

胴総圧を80kPa以下として、所要動力を8,000kW以下とする負荷制限を行いつつ、運転監視に注意をはらって運用している状態であった。

次に、主な老朽化の状況について示す。

(1) 送風機本体

風洞試験では、起動停止が頻繁に行われ、長年にわたり、温度上昇・下降が繰り返されたことにより、熱変形を起こし、ケーシングの水平接手面に隙間が発生していた。また、経年劣化により、動翼数枚の根元に微細なクラックが発生していた。

(2) 増速歯車

歯車当り面の摩耗の著しい進行と振動加速度が増大していた。

(3) 駆動用電動機

昭和54年に、高圧電線の接合部の経年劣化が原因で、回転子集電環部の発熱故障があり、電動機を分解して大規模な修復を行った。その際、スロット楔の改修などを中心に、固定力の劣化対策を行ったが、絶縁耐力に対する対策は予算の関係で行われておらず、コイル絶縁の劣化が進行しており、巻替時期となっていた。また、電動機用遮断器類の絶縁劣化、機構部の摩耗が著しかった。

(4) 弁制御装置

VA1・VA2弁を作動させる油圧式操作装置の電磁弁の焼き付き等における動作不良の多発、励磁振動の増大、経年劣化による油漏れが発生していた。

3.2 旧設備の問題点²⁾

建設以来、設備保守管理と設備性能向上に努めていたが、次に述べる問題点を解消することが出来なかった。

(1) バイパス方式による抽気量制御

本風洞は、主送風機によって作り出される測定部主流量から、補助送風機設備で抽気し、その抽気量を調節することによって、測定部に遷音速領域流を生成するシステムとなっている。

旧補助送風機設備の送風機は、定速回転(3,005rpm)で駆動する軸流送風機(10段)のため、測定部からの抽気量、抽気室圧に無関係に一定の動作点で作動している。そして抽気量の調節は、送風機入口上流に設けたVA1弁で行い、抽気量の変化に対応して送風機の定格流量を確保するために、送風機吐出下流部から、入口上流に導くバイパス管に設けたVA2弁でバイパス量(圧力比)を調節して吸入流量が確保されている。

上記のように、バイパス制御による抽気量制御方式では、測定部で必要とする抽気量の多少にかかわらず送風機は定格流量を処理することから、軸動力は一定となりそれに見あった電力を消費することになる。そのため必要抽気量に対して送風機動力効率が悪いという欠点があった。

(2) 抽気量の過大設計

文献 1)によると、本風洞の抽気量の設計仕様は、マッハ数 $M=1.2$ のときに、主流量の8%を抽気可能とする量としていた。これは、集合胴総圧98.1kPa、吸込み空気温度60°Cの条件下で70kg/sを抽気する性能を有することになり、所要空気動力は10,000kW必要(最大12,000kW)となる。

また、この仕様では、マッハ数 $M=1.4$ のときには、主流量の5%の抽気量(45.85kg/s)となる。

旧補助送風機設計時に想定された各マッハ数に対する必要抽気量(2~5%)と送風機運用上で得られた実績抽気量の関係を図3.1に示す。図から解るように、今までの実験運用上で必要としていた抽気量は、主流量の4%以下の抽気量で十分である。すなわち、主流量の8%としたのは抽気能力として大きすぎる値であった。

これは、当時の技術力や諸事情によりやむをえない面もあるが、定容量の送風機を採用し、抽気量制御をバイパス方式で行った結果でもあり、前記(1)で記述した効率を悪くする要因となると共に、設備全体の大型化につながった。

(3) 送風機の圧力比不足

抽気室からの抽気量を制御するには、送風機圧力比が、各マッハ数に応じた必要最低圧力比を上回っている必要がある。図3.2に旧送風機の運転範囲と設計点を示す。

図に示す通り、マッハ数 $M=1.4$ における送風機設計圧

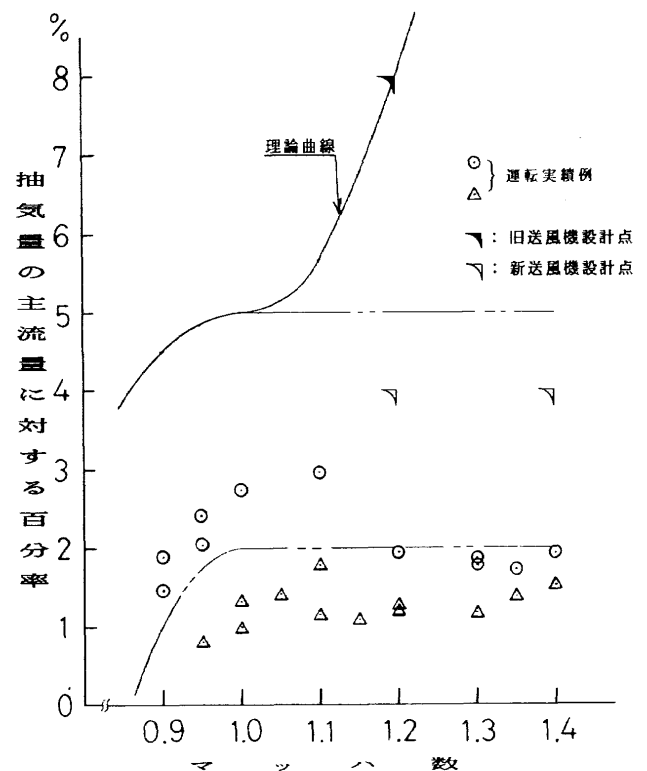


図3.1 抽気量とマッハ数の関係

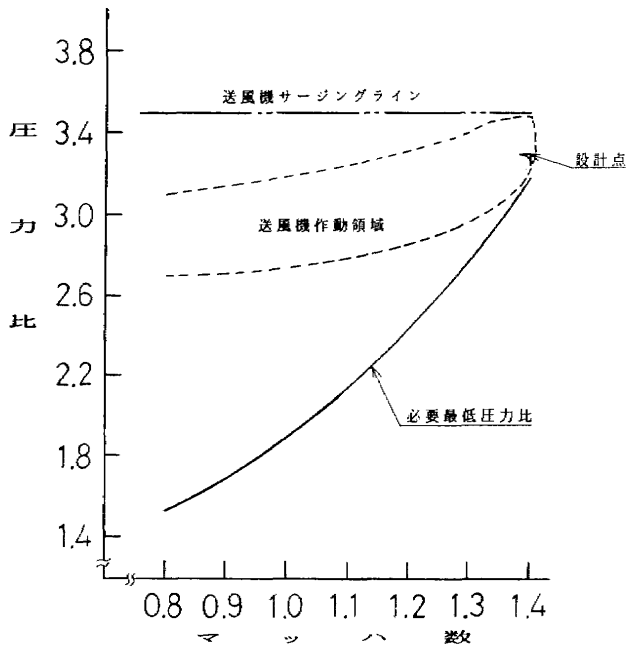


図3.2 旧補助送風機運転圧力比範囲

力比が3.3であるため、測定部必要最低圧力比との差が少なく、さらに、送風機のサージング点圧力比が3.5であったので、圧力比制御範囲が狭くなって、模型形態によっては抽気室からの抽気量を多量に必要とする時の圧力比が不足し、マッハ数の設定が不可能な場合があった。そこで、本更新では送風機圧力比を3.3よりも高い値を設計値として、圧力比不足からマッハ数設定不能という事態を起こさないようにする改善が必要であった。

また、送風機の作動上、圧力比を2.6以上に保つことが必要であり、マッハ数 $M=1.2$ 以下で圧力比を必要最低圧力比に近づけることは、送風機の吸込み流量を増加させることになり、送風機負荷を増すことになる。よって、送風機圧力比の作動領域は、図3.2に示すように圧力比は3.0前後を保つ必要がある。これは、必要最低圧力比との差が大きくなり効率を悪くしている。

(4) マッハ数制御の複雑性

マッハ数制御は、VA1、VA2弁の開度調節によって行われるが、過負荷及び非常停止時の即応性のため、VA1弁(口径1,600mm)、VA2弁(口径700mm)には大型ロータ弁が採用されていたので、流量特性は非線形性が強いものであった。この様な弁を使って抽気量、圧力比の2つの量を同時に制御するには、操作が複雑となる上に、細かい制御が不可能であり、運転員の高い熟練度が要求されていた。

また、前記(3)で述べた通り、高マッハ数を制御する時に、送風機のサージ点に近い領域で操作しなくてはならないので、運転員は細心の注意が必要であり、自動制御が要望されていた。

3.3 更新指針

更新に際しては、遷音速風洞特別改修の更新指針³⁾に基づき、次に示す基本方針を柱にした。

- (1)問題点の解消
- (2)設備全体の単純化
- (3)消費電力の軽減化、省エネルギー化
- (4)運転・保守の合理化、省力化
- (5)既設設備との整合性
- (6)工事による風洞停止期間の短縮

補助送風機設備においては、上記項目を十分満足できるように次に示す基本仕様を定めた。

(1) 送風機に容量調節機構を持たせる

軸流送風機の流量を変えるには、回転数制御、動翼可変制御等の方式も考えられるが、価格、工事期間、既設基礎の流用等の条件から、本送風機の容量調節機構の手段として、全段静翼可変制御方式を採用することとした。

(2) 主流量の4%を抽気能力とする

図3.1で示したとおり、運用上では主流量の3%以下の抽気量で足りることが確認できているので、新送風機の設計流量に安全率を加味した上で、マッハ数 $M=1.4$ のときの主流量の4%を抽気する仕様とした。また、マッハ数 $M=1.2$ の場合も同様とした。これは、旧設備の抽気流量に対して、マッハ数 $M=1.2$ のときの50%、 $M=1.4$ のときの30%減少となる大幅な少量化を図ることとした。

測定部圧力比仕様については、旧設備と同様とするが、送風機本体の性能設計にあたっては、配管等の圧力損失を考慮して、マッハ数 $M=1.4$ のときの圧力比を3.5、マッハ数 $M=1.2$ のときの圧力比を2.53とした。

(3) 自動制御方式を採用する

現場機器の操作端の電動化や空気作動をはかることによって、機器の操作、監視を中央集中管理とし、マッハ数の自動制御が可能であるシステムを採用する仕様とした。

4. 新設備の構成

4.1 更新設備の概要

更新設備は、以下に述べる特長を有する機器で構成されている。

設備の概略構成図を図4.1に示す。更新指針に基づき、抽気量制御を送風機本体の全段静翼可変方式で行い、容量調節機構を有する送風機とした。増速装置、駆動用電動機は、電動機定格最大出力で8,000kWとし小型化を図り、回転数は、1.5倍の高速化を図った。

更新送風機では、旧VA1弁のような制御弁的な機能を有する弁の設置は必要なくなったが、抽気室部に設置されているVM1A・B弁は、保守維持上の理由で開放のまま使用することとしているので³⁾、送風機単独試験等のと

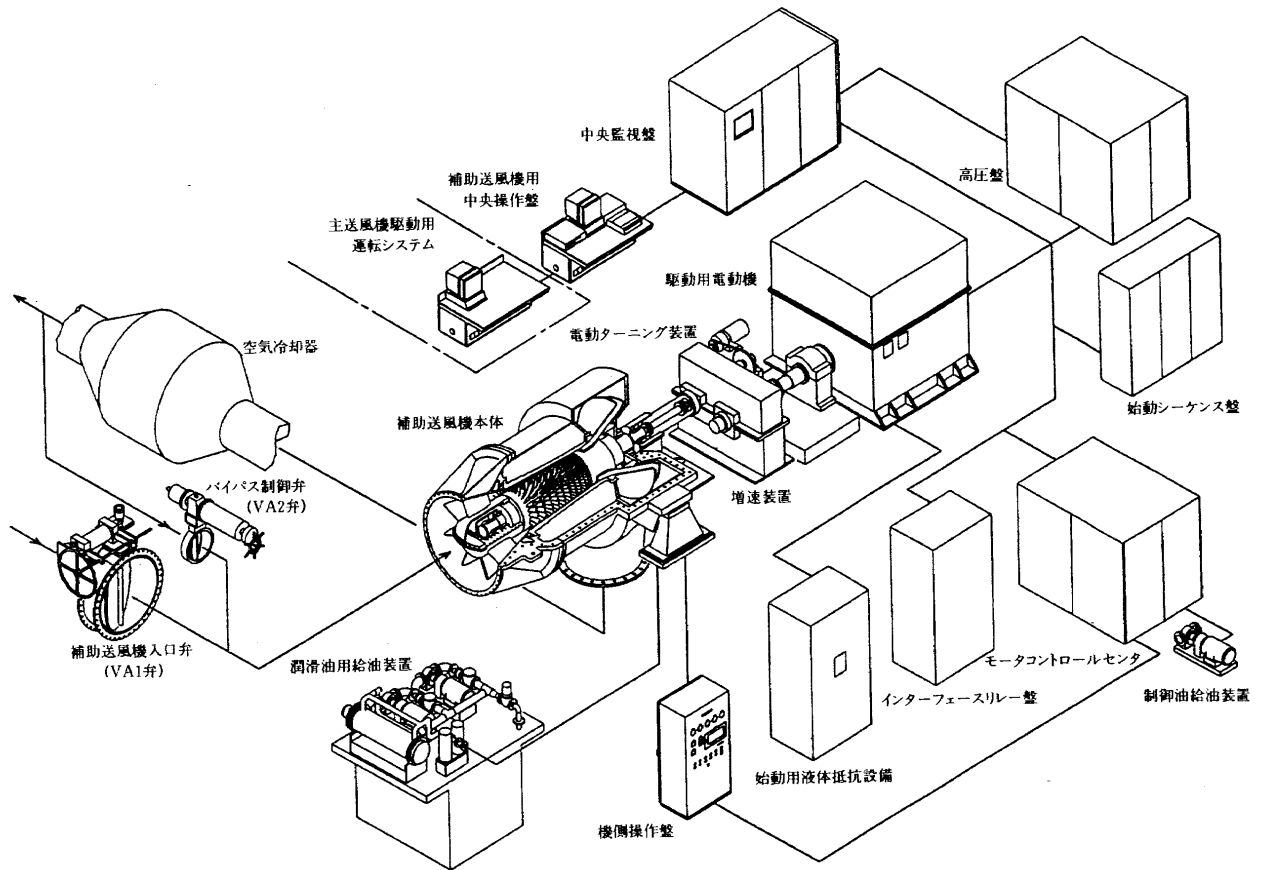


図4.1 更新設備の概略構成図

きに風路を遮断する機能をもった送風機入口弁(VA1弁)が必要とされた。VA1弁は、主風洞との帯動運転時に抽気が必要となる場合には、全開にして使用される開閉弁となったので、単純な構造の弁となっている。

バイパス制御弁(VA2弁)は、送風機のサージ防止制御等の保護装置的機能は増したが、マッハ数制御に対しては補助的な機能となった。また、バイパス流量が減ったことにより、旧弁に比べ、口径で6/7の小型化を図った。

電源設備としては、高压遮断器に真空遮断器を採用するとともに、補機類用の低圧動力電源を200Vから400Vにすることによって電力効率を上げた。

機器の監視と運転制御手段としての、運転制御システムは、FA(ファクトリ・オートメーション)化を積極的に導入したことにより、中央集中管理が可能となり省力化が図れた。なお、本システムは、主送風機駆動用運転システムとの必要な信号の取合いも行う⁴⁾。

4.2 構成機器

設備の主要構成機器について述べる。

4.2.1 補助送風機本体

(1) 送風機要目

- (a)形式 全段静翼可変式
二重ケーシング型
多段軸流送風機(11段)
- (b)取扱流体 乾燥空気
- (c)設計仕様点

マッハ数		1.4	1.2
流量	kg/s	32.2	34.84
総圧圧力比		3.3	2.42
抽気室総圧	kPa	29.7	40.5
集合胴総圧	kPa		98.1
吸込み温度	°C		60
所要動力	kW	6,050	5,060
最大所要動力	kW	7,260	
回転数	rpm		4,487
容量調整方式			静翼可変方式
送風機圧力比		3.5	2.53

流量制御範囲は、マッハ数1.4の運転点を100%とするとき、圧力比一定として、60~100%の流量制御が静翼可変操作のみで行えること。

なお、集合胴総圧が49~117.7kPaの範囲で変化することが考慮されている。

符号	動 員	部品名称	材質	数量	備考
1	ローク	ステンレス鋼	ステンレス鋼	1式	
2	中間軸	合金鋼	合金鋼	1	
3	入口ケーシング	炭素鋼	炭素鋼	1	
4	外部ケーシング	炭素鋼	炭素鋼	1	
5	内部ケーシング	炭素鋼	炭素鋼	1	
6	入口ガイドリング	炭素鋼	炭素鋼	1	
7	ダイヤフラム	炭素鋼	炭素鋼	1	
8	ダイヤフラム	炭素鋼	炭素鋼	1	
9	ダイヤフラム	炭素鋼	炭素鋼	1	
10	ダイヤフラム	炭素鋼	炭素鋼	2	
11	ダイヤフラム	炭素鋼	炭素鋼	1	
12	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
13	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1式	
14	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1式	
15	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	2	
16	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
17	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
18	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
19	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
20	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
21	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
22	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	2	
23	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	2	
24	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
25	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
26	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	1	
27	吐出側軸受ケース	炭素鋼	炭素鋼	2	

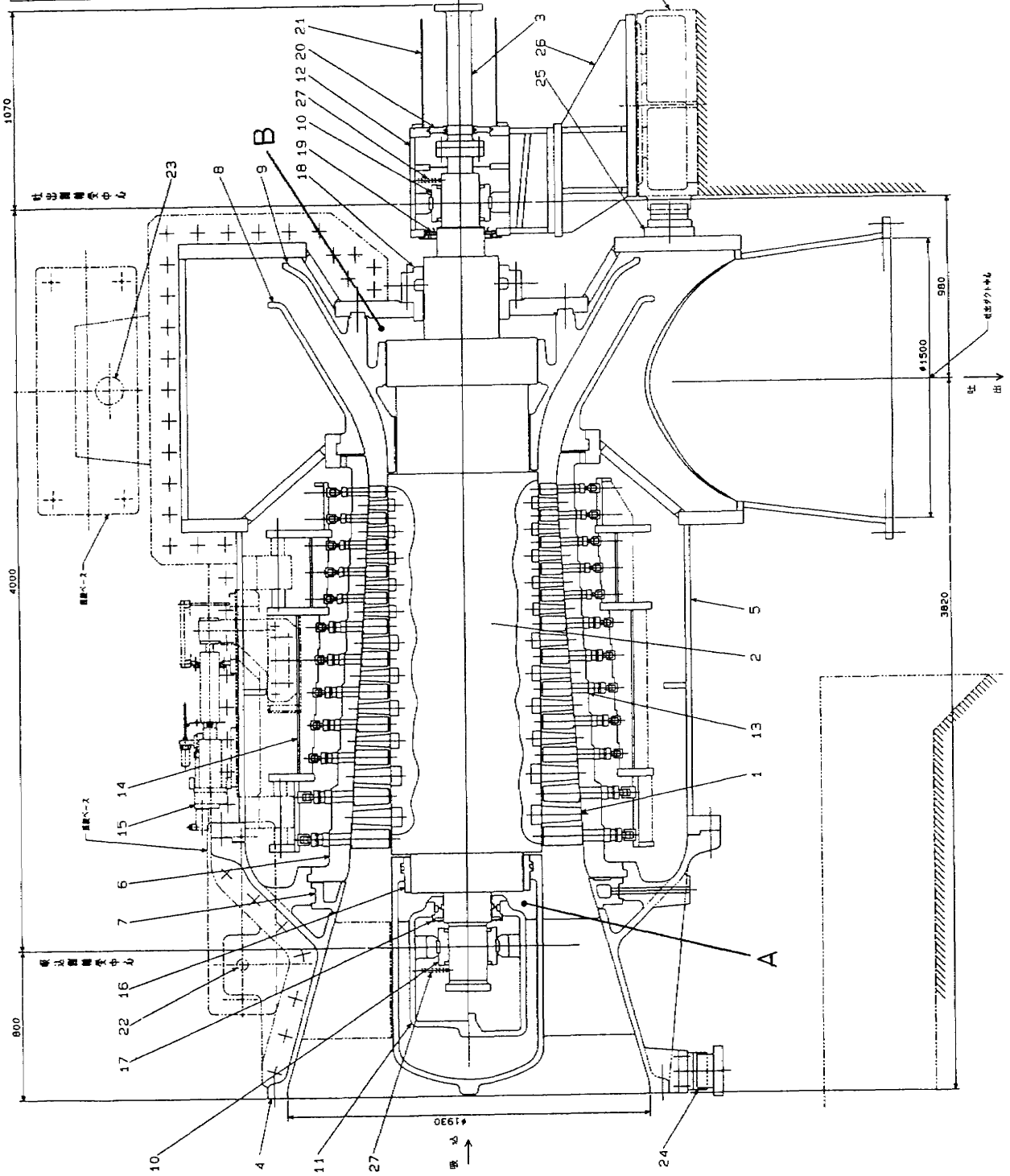


図4.2 送風機断面図

(2) 構造

本送風機は、大流量に適した高効率の軸流段で、効率良く大流量を圧縮することができるように設計されている。さらに、可変静翼を備えているので定速下で流量の調節を容易に行うことができ、静翼を開くことによって流量増加も可能である。なお、本機は一般軸流式圧縮機の構造と大差はないが、風洞への使用条件から、吸込み圧変動の吐出圧一定下での使用状態となるのが特徴である。

本機は、吐出側から駆動電動機により増速機を介して駆動される。配管にて軸方向から送風機吸込み口に導かれた空気は、ケーシング内で高速回転している動翼により昇圧され、所定の圧力まで上げられた後下方に吐出される。

送風機の断面図及び写真を図4.2、図4.3に示す。送風機本体は、心臓部である回転部品のロータと、静止部品のケーシング、ガイドリング、ディフューザー、ラビリンス、静翼変節可変制御装置、軸受、軸受ケース等の構成部品より成り立っている。

以下に図4.2に示す符号を併記してやや詳しく述べることとする。

(a) ケーシング

本ケーシングは、外部ケーシング(5)と鋳鋼製の内部ケーシング(6)とからなる二重ケーシング構造である。外部ケーシングは、吸込み側は鋳鉄製、吐出側は銅板溶接製で、両者は縦フランジ面でボルト結合されている。

外部ケーシングと内部ケーシングの間には静翼可変機構が設けられており、静翼可変機構部を外部ダストから隔離し摺動部の信頼性を増すと共に、静翼軸の間隙から外気の侵入を防ぎ、機内空気の乾燥度の低下を防止する構造となっている。

ケーシングは水平二つ割れの構造で保守点検が容易な構造になっている。また、送風機全体の重量を支持するとともにケーシングの熱膨張を無理なく逃がす機能をもったケーシング支持装置が設けられている。

吸込み側の支持装置は、ケーシングの軸方向位置を固定し、軸直角方向にはスライドできるようにキーが組込まれ、荷重はピンで支持されるようになっている。吐出側は軸方向及び軸直角方向とも、荷重を支えるピンが傾斜して熱膨張が逃げられるようになっている。吐出側ピンは熱膨張の非常に小さい材質を使用しているのでケーシングの上下方向の熱膨張はほとんどない。

吸込み側と吐出側の支持装置の間に中間支持装置が設けられている。この支持装置はケーシングのたわみ量を少なくするために設けられており、熱膨張による変位はスライドして逃げられるように設計されている。

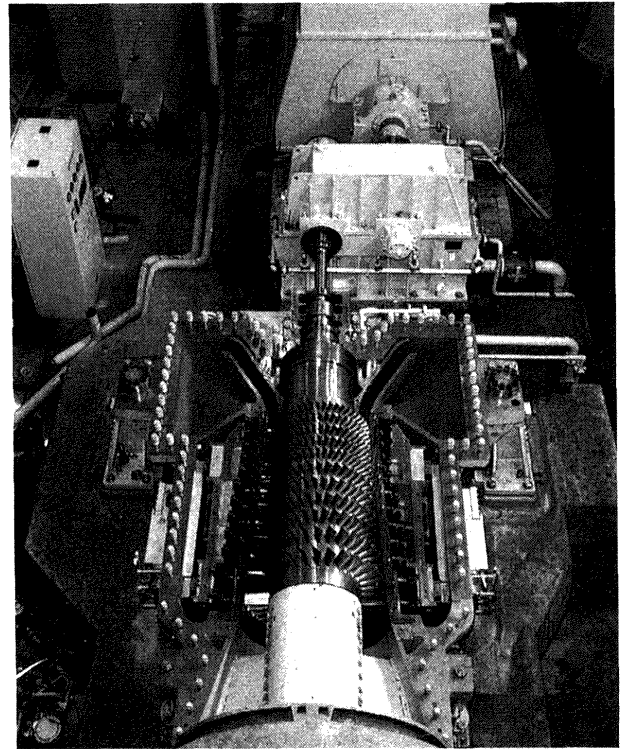


図4.3 送風機，増速装置，駆動電動機

吸込み側、吐出側に設けられているセンターキー(24・25)によって軸直角方向を固定し、軸方向にはスライドできるようになっている。

また、入口ケーシング(4)を利用して送風機の吸込み流量が計測できる構造になっている。

(b) ロータ

特殊鋼製の一体型鍛造ロータ(2)で外周に動翼が植え込まれている。精密に機械加工された後、動翼が植え込まれた状態で実機の運転回転数と同じ回転数でバランステストを行い、振動の少ない安定した回転特性が実現されている。

また、解析によるとクリチカルスピードが3100rpm、8200rpmにある。この値は送風機軸の使用回転数4489rpmに対し、十分離れており安全であることが確認されている。

ロータ各部の圧力分布の差異によって生じるロータの軸方向スラスト力を最小にするために、吸込み側と吐出側にそれぞれケーシングとシャフトの両端で囲まれる空気室が設けられている。さらに、図4.2に示す吸込み側空気室A部と空気冷却器下流空気配管とを結ぶ配管と、吐出側空気室B部と入口ケーシング上流の空気配管とを結ぶバランス配管が設けられている。

(c) 動，静翼

試験機及び多数の実機で空力性能、強度での信頼性が実証されている動，静翼(1・13)が採用されている。翼型は、NASA65系修正翼を用い、翼列設計理論、特

性子測の解析を行って、前段側と下流翼列で段特性を変え、作動域、高効率域が拡大されている。

材質は、13クロムステンレス鋼製で、鍛造材を機械加工し、最終翼形状に仕上げられている。

(d) 軸受、軸受ケース

軸受は安全性に優れたジャーナル軸受(10)を使用している。

吸込み側軸受ケース(11)が流路内に設けられ、また本機が減圧状態で使用され且つ乾燥空気が使用され、油滴の漏洩を完全に防止する必要があるため、軸受ケース水平面及び軸シール部にシール空気の吹込みが行われている。吐出側軸受ケース(12)は送風機ケーシングとは別置きとされている。

(e) 静翼変節装置

静翼変節装置(14)は、静翼、静翼軸受、変節レバー、変節胴、及び駆動部より構成されている。

補助送風機設備の機能および性能の要求の一つに「流量制御範囲は、定圧力比にて60から100%までの運転がバイパスなしに行われなければならない。」がある。この要求は、送風機の各段の静翼の開度を計画的に制御することで達成されている。

計画的な各段静翼開度とは、基準静翼角度(効率の良好な設計)からの変化の割合を1段階を大きく、最終段階側を小さくさせることである。

このような開度配分の実現は、静翼の回転開度を变化させるレバーの長さを変え、レバーに接続している変節胴を二つのアクチュエーターによって、軸方向に動かすことによって行われている。なお、本装置のアクチュエーターには、電気油圧ステッピングシリンダー(15)が採用されている。

静翼の開度を決定するアクチュエーターを精密に制御することによって、 $\pm 0.1\%$ の精度でマッハ数制御が達成できる。

また、起動時の所要動力を最小にする方法として、吸込み配管上に絞り弁を設置する方法ではなく、静翼を全閉としたまま起動する方法が採用されている。

図4.4の静翼変節機構概念図にもとづいて、構造と実際の変角方法を述べる。

各静翼は翼部と軸部を一体で削り出し加工され、内部ケーシングにはめ込まれた軸受ケース内に挿入され、カーボン製の軸受で支持されている。

軸受と静翼軸との隙間からガスの漏れを防ぐために、流路側の軸部溝にOリングが取り付けられている。

静翼軸端にはレバーが固定され、レバーの他端にはピンが、そしてピンを軸として回転できるスライドシューが取り付けられている。スライドシューは変節胴に取り付け固定されたリングの溝内に挿入される。スライドシューの摺動面は自己潤滑性のある材料ででき

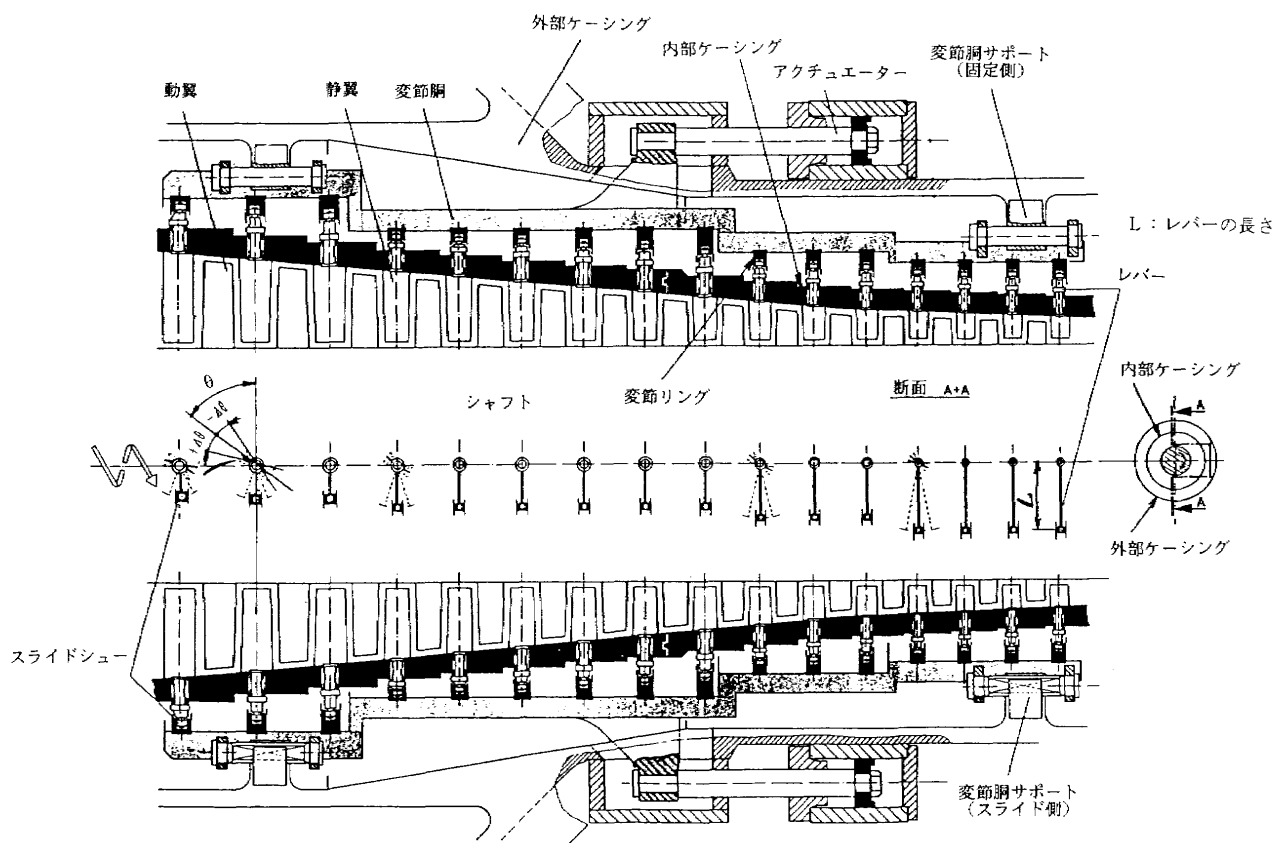


図4.4 静翼変節機構概念図

ているので、溝内でスムーズにスライドできる。

変節胴は、外ケーシングから4ヶ所で支持され、また、熱膨張に対する配慮がなされ軸方向には滑らかに動くことができる。変節胴は両側に駆動腕が取り付けられて、アクチュエーターと接続されている。

静翼開度の開閉は、アクチュエーターの軸方向操作力が駆動腕を通じて変節胴に伝わり、これを軸方向に動かし、各段の変節リングを介して、スライドシューが溝内で滑りレバーが振れ、その回転中心にある静翼軸が回転するという順序で達成される。

各段の静翼軸に固定するレバーの長さを後段に行く程長くすれば、軸方向に開度が変わり前述した広い範囲の流量制御が可能となる。

(f) 軸シール

軸シールはラビリンス方式で、ステンレス製のフィンが回転側に植え込まれ、万一接触した場合でもそれによる悪影響を最小限にできる構造となっている。また、フィンは植え替えることが可能である。

4.2.2 増速装置

増速装置は、ハスバ歯車を使用した1段増速装置である。本装置は、電動機と送風機の上に設置され、送風機を規定回転数で駆動するものである。

電動機と増速装置間は、フレキシブルカップリング、増速装置と送風機間はリジットカップリングにより結合されている。

(1) 要目

(a)形式	平行シングルヘリカル
(b)伝達動力	8,000kW
(c)回転数	一次側 1,487rpm 二次側 4,487rpm

(2) 構造

歯車は合金鋼製で歯面はホブ切り後、浸炭焼き入れの上、研削仕上を行って十分な精度が確保されている。

小歯車の両端にスラストカラーが設けられ、送風機で発生するスラストは大歯車軸に伝達される。このスラストは大歯車軸に設けられたスラスト軸受が受ける。これによってスラスト軸受の信頼性を向上させるとともに機械損失を少なくしている。

また、遠隔操作による自動嵌脱機構付きターニング装置が小歯車軸端に設置されている。

(a) ケーシング

ケーシングは鋼板溶接構造で、開放、点検が容易に行えるよう水平二つ割れ構造となっている。

また、既設基礎に合せた軸間距離となっている。

(b) 歯車用軸受

小歯車及び大歯車用の軸受はジャーナル軸受で上下

二つ割れ構造である。

(c) スラスト軸受

送風機により発生するスラスト及び位置決めのため、大歯車軸端にティルティングパッド・スラスト軸受が設けられている。

4.2.3 電動ターニング装置

ターニング装置は起動前に油膜を形成し、運転停止後に均等な冷却を行うために、送風機及び電動機を低速回転させるものである。

(1) 要目

(a)形式	電動駆動自動嵌脱式
(b)ターニング回転数	30.7rpm
(c)駆動用電動機	11kW×400V×4P

(2) 構造

ターニング装置は、三相籠形誘導電動機直結形減速機及びチェーン sprocket・ホイールから構成され、減速機及びチェーン駆動により一定の高い電動機回転数を所定のターニング回転数に減速するものである。

自動嵌脱機構は、空気作動ドラムスイッチを採用し、小歯車軸端に搭載されている。

4.2.4 送風機入口弁(VA1弁)

送風機入口弁は、主風洞抽気室より導かれる空気配管上に設置され、風路を遮断する機能を有する弁である。

(1) 要目

(a)形式	蝶形弁(密閉形)
(b)口径	φ1,600mm
(c)駆動方式	空気圧式及び手動
(d)開閉速度	約60秒

(2) 構造

弁本体、駆動用シリンダー、操作装置等で構成されており外部信号を受けて全閉・全開が行われる。なお、空気源断等の故障時にも全閉操作が出来るように専用の空気槽が備えられている。

4.2.5 バイパス制御弁(VA2弁)

バイパス制御弁は、送風機入口に戻るバイパス流量の調節、サージング防止制御の圧力制御、送風機の逆流発生及びサージング時の緊急回避を行うためのものである。

(1) 要目

(a)形式	パラシール弁
(b)口径	φ600mm
(c)駆動方式	空気圧式復動形及び手動
(d)開閉速度	8秒以内(通常時) 2秒以内(緊急時)

(2) 構造

バイパス制御弁は、本体、復動式駆動用シリンダー、操作装置等で構成されている。外部開度指令信号を電空ポジションナーで受け、電磁弁によって、空気圧を回転トルクに変換して弁を駆動し、弁の駆動軸が0度から90度の範囲で設定できる。なお、空気源断等の故障時にも全開操作が出来るように専用の空気槽が備えられている。

4.2.6 潤滑装置

本装置は摩擦により発熱する補助送風機、駆動電動機及び増速機の軸受、ならびに歯車を潤滑及び冷却する機能をはたすためのものである。

主構成部品は、潤滑油タンク、主潤滑油ポンプ、補助潤滑油ポンプ、ポンプ用駆動機、油冷却器、油フィルター、排煙ファン、油圧調節弁及び給排油配管であり、給排油配管を除く上記部品がユニットにまとめられて設置されている。また、冬期の潤滑油の粘度確保のため、潤滑油タンク内に温度制御機能付き電気式オイルヒータが備えられている。

送風機運転中に電気系の故障、停電、油ポンプの故障等で非常停止を行った場合でも、送風機及び電動機の回転が停止するまでの約30分間、十分な潤滑を行い得る能力を有する油量(4,200ℓ)を、送風機運転前に主・補助潤滑油ポンプ2台を用いて既設上油槽に供給する能力をもっている。上油槽に至る配管上に設置した上油槽戻り弁を、油ポンプ起動と同時に全開とし、油量確保後、補助油ポンプを停止すると共に戻り弁を全閉にして使用される。

潤滑油は、潤滑油タンクより潤滑油ポンプにより吸い出され、圧力を約392kPaG迄高められる。配管ラインには、潤滑油タンクへのバイパスラインが設けられており、バイパスライン中の油圧調節弁により、軸受及び歯車への給油圧力は約166kPaGに調整されている。

(1) 要目

(a)タンク容量	7,000 ℓ
(b)ポンプ	歯車ポンプ(2台) 吐出圧 392kPaG 吐出量 600 ℓ/min
(c)電動機	15kW×6P(2台)
(d)油冷却器	シェルアンドチューブ
(e)オイルヒータ	17.5kW×400V
(f)圧力調節弁	設定圧力392kPaG
(g)潤滑油規格	JISK2212

4.2.7 制御油装置

本装置は、軸流部分の静翼の開度を変えるための電気油圧ステッピングシリンダの操作力として、高圧油を供給するものである。

本装置の主構成部品は制御油タンク、制御系ポンプ(駆

動用電動機含む)、冷却系ポンプ(駆動用電動機含む)、油冷却器、油フィルター、アキュムレータ、油圧調節リリーフ弁及び給排油配管であり、給排油配管を除く上記部品をユニットにまとめて設置されている。また、冬期の制御油粘性確保のため、制御油タンク内に温度制御機能付き電気式オイルヒータが備えられている。

電気油圧ステッピングシリンダの操作に必要な油圧、油量は、制御油タンクより制御系ポンプにより吸い出され、圧力を約13.7MPaG迄高められて供給される。また、冷却系ポンプは、タンクより油を吸い出して油冷却器に供給し、制御油の温度調整が行われる。

アキュムレータは、制御系ポンプが停止した場合、または送風機が非常停止した場合、静翼が全閉となるまでの必要な給油を行うためのものである。

(1) 要目

(a)タンク容量	200 ℓ
(b)制御系ポンプ	可変ピストンポンプ 吐出圧 13.7MPaG 吐出量 15 ℓ/min
電動機	5.5kW×6P
(c)冷却系ポンプ	定吐出ペーンポンプ 吐出圧 0.39MPaG 吐出量 20 ℓ/min
電動機	0.75kW×6P
(d)油冷却器	シェルアンドチューブ
(e)オイルヒータ	2kW×400V
(f)潤滑油規格	JISK2213

4.2.8 駆動用電動機

駆動用電動機の定格出力は8,000kW連続であり、最大軸動力に対して約10%の余裕を持っている。また、摘要規格は、JEC, JEM, JISに基づいて製作されている。

(1) 要目

(a)形式	スリップリング短絡及びブラシ引上装置付 巻線形回転子、全閉空気冷却器付、強制油冷式すべり軸受、軸受台付 コレクター室：全閉形、電動機付
(b)定格	極数 6 極 出力 8,000kW 回転数 1,485rpm 電圧 11,000V 周波数 50Hz 絶縁 F 種
(c)特性	負荷率 100% 75% 50% 効率 97.7 97.4 96.6 力率 91.0 90.8 87.9 すべり 0.42 0.31 0.20

(d)冷却器仕様

交換熱量 240kW
冷却水量 16.7kg/s

最大許容二次電流 1,650A
熱容量 267,000kW・s
電解液保有量 2,850ℓ
起動方式 二次抵抗始動

4.2.9 起動抵抗器

起動用抵抗器は駆動用抵抗器の二次側に挿入してこれを起動するものである。起動シーケンス盤を設けて、加速中の電動機一次側電流を定格値以内に抑えて、2分て起動完了できるように制御されている。

液体抵抗器の電解液は炭酸ソーダ水溶液で、外部ポンプで冷却器へ強制循環を行い遷音速風洞の運転計画にしたがい、30分間隔で4回連続起動できる容量を有している。

(1) 要目

(a)液体抵抗器

形式 円筒形冷却器別置き
最大許容二次電圧 4,000V

(b)金属抵抗器

形式 鋼板製グリット抵抗器
定格 0.08Ω-1,180A-4,000V

(c)短絡電磁接触器(5台)

形式 真空コンタクタ
定格使用電圧 6,600V
定格使用電流 7,000A

4.2.10 受配電設備

11kV系は変電所より直接に、3.3kV系は主送風機駆動用設備の受電盤を経由して受電遮断器を設けて受電している。結線の詳細は、図4.5、図4.6の単線結線図に示し

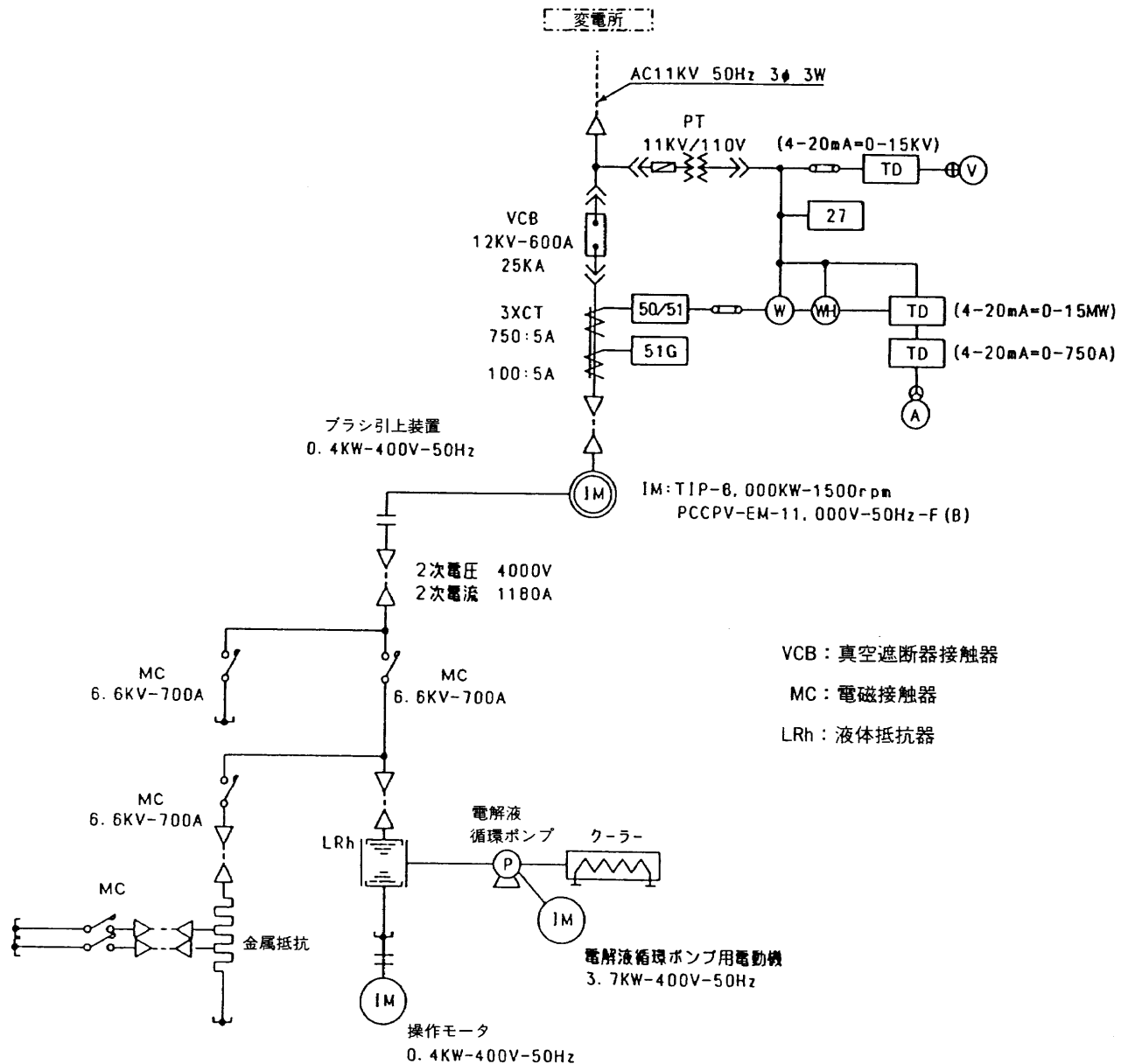


図4.5 11kV系単線結線図

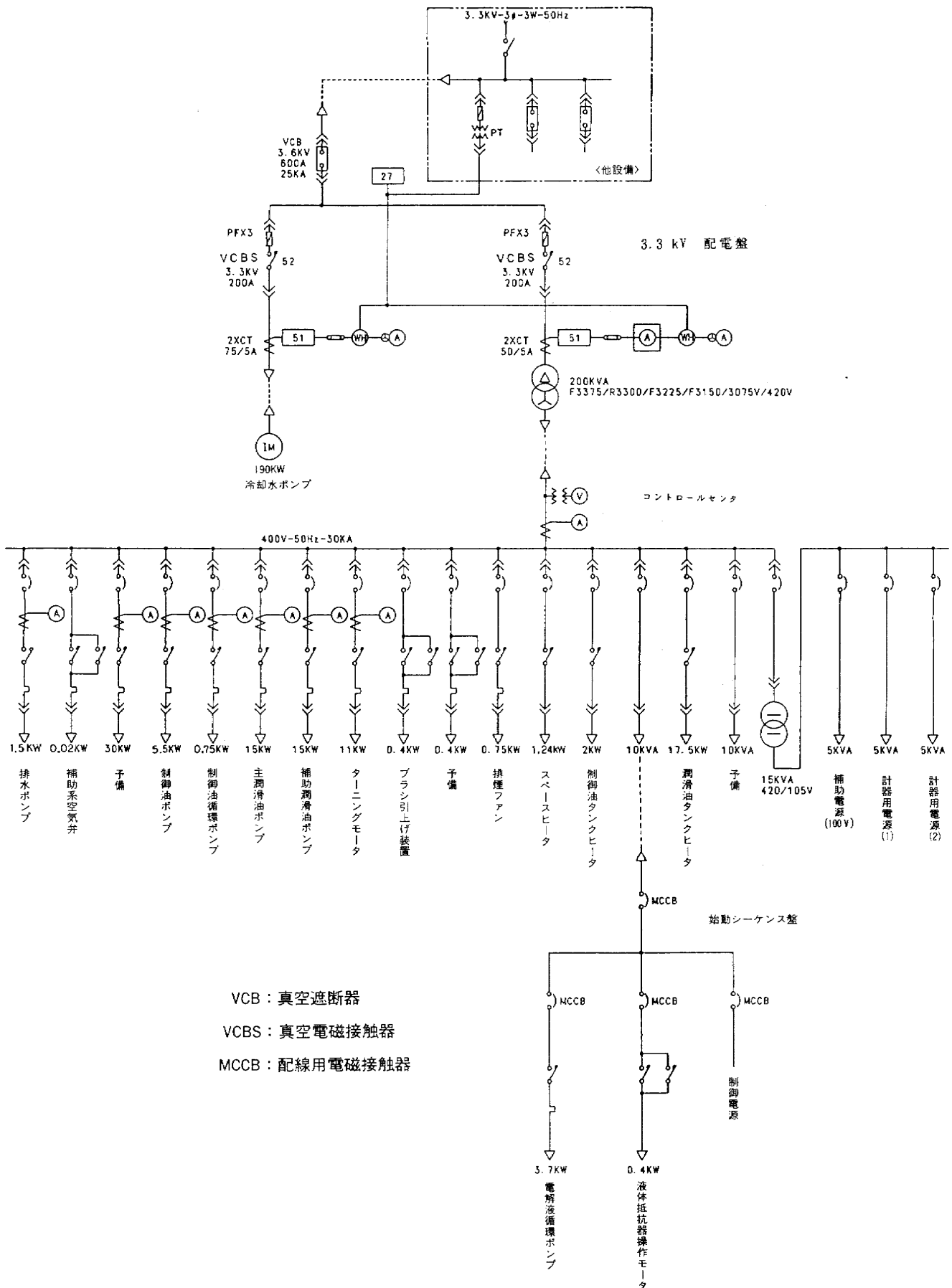


図4.6 3.3kV系単線結線図

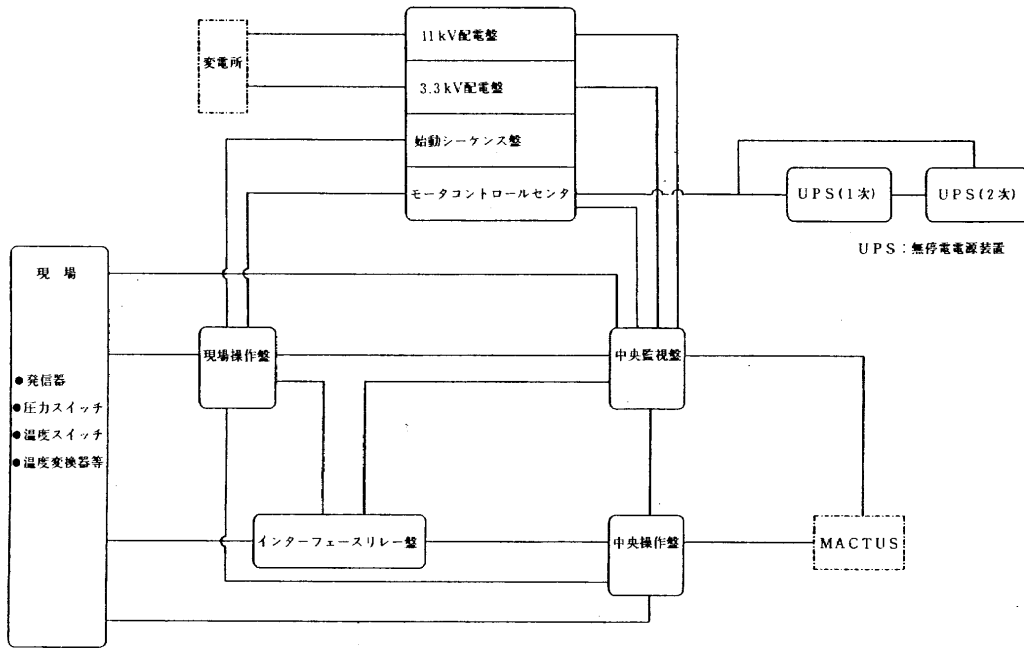


図4.7 概略制御系統図

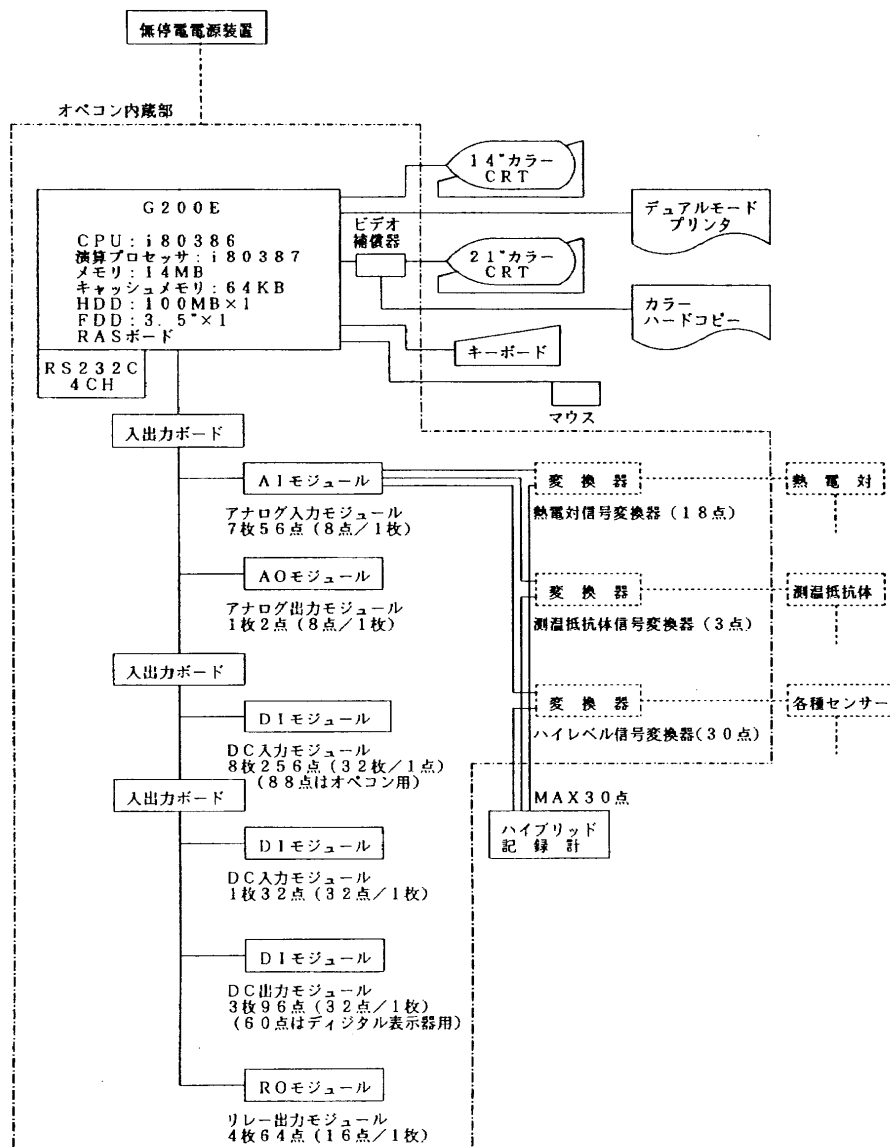


図4.8 ハードウェア構成

ている。

高圧遮断器としては、安全性が高く、保守の簡素化と小型化の進んだ真空遮断器、真空電磁接触器を採用している。

4.2.11 運転制御システム

運転制御は、シーケンス制御、デジタル制御の分散化システムで行い、図4.7に示すように、設備の各機器間を結ぶ信号取合いを、中央操作盤内のオペレータ・コンソールによって支配する中央集中管理が行えるようになっている。次にその機能を示す。

(1)制御機能

- (a)マッハ数制御
- (b)サージング自動防止制御
- (c)逆流防止制御
- (d)ワンタッチ起動停止制御
- (e)圧力、温度調節

(2)監視機能

- (a)送風機吸入、吐出温度圧力監視
- (b)各軸受温度監視
- (c)各軸振動監視

(d)軸移動監視

(e)電力、電圧、電流監視

(f)電動機固定子温度監視

シーケンス制御システムは、プログラマブルコントローラ、各種圧カスイッチ及び各種検出スイッチ等により構成され、送風機の逆流防止制御及びワンタッチ操作で起動停止の制御が行えるようになっている。

デジタル制御システムは、32ビット産業用計算機、21インチカラーCRT、プリンタ等のハード構成と、マルチタスク、マルチウインドウにて処理するソフトウェアによって、マッハ数制御、サージ自動防止制御、計測・監視表示が行われる。

図4.8、図4.9にデジタル制御システムのハードウェア構成、ソフトウェア構成を示す。

5. 運転制御

本設備の運転制御は、運転員1人による操作を基本とし、中央操作盤に1人の運転員を配備していれば前章4.2.11に述べた機能を実現することができる。

誤操作を避け操作簡略のために、各制御行程ごとに、操作スイッチを中央操作盤上のオペレータコンソールに設けるだけとし、各機器の動作がワンタッチ操作によるシーケンシャルな動作で運転が出来るようにされている。

図5.1に監視盤・操作盤の写真を示す。

また、図5.2にCRT画面の一画面を示すが、ステータス表示エリア、アラーム表示エリア、会話エリア、グラフィック画面表示エリア、ソフトキーエリア、メッセージエリアの六つのエリアが独立して表示されているので、必要に応じて、シーケンス回路への割り込み信号、条件信号等は、CRT画面上にて会話方式で入力することができ、監視も同時に行える。

機器の単独操作は、すべてCRT画面上からの入力である。機器に対する必要なインタロックは、システムのソフトウェア等で機器毎に施されている。

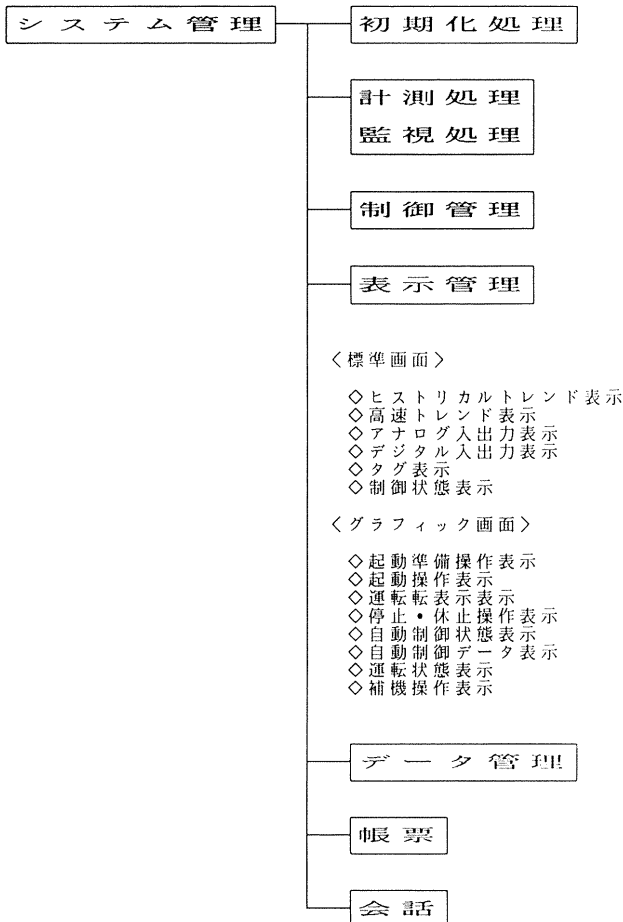


図4.9 ソフトウェア構成



図5.1 補助送風機監視盤・操作盤

以下に各運転制御の詳細について述べる。

5.1 運転モード

運転モード選択スイッチはオペレータコンソールに設けられている。スイッチは、「中央」、「現場」、「連動」、「単独」の照光式モーメンタリスイッチで、これらの操作により次の3種類のモードが選択できる。モード選択は、送風機本体が停止状態であれば、全ての機器は現状維持の状態である。

各機器の動作表示は、現場操作の場合、スイッチの照光で行い、中央操作の場合はCRT画面上で各機器のON・OFFが確認でき、シーケンス回路の進捗が概略表示されている。

(1) 「現場」-「単独」モード

現場操作盤より各補機類の単独操作が行える。

(2) 「中央」-「単独」モード

オペレータコンソールより中央にて各機器の単独操作が行える。

(3) 「中央」-「連動」モード

補助送風機の運転はこのモードで行い、オペレータコンソールに設けられた「起動準備」、「起動」、「待機」、「停止」、「休止」、「非常停止」の照光式スイッチを押すことにより、シーケンス制御で、各行程が進む。

運転中のマッハ数制御は、「自動」、「手動」のスイッチを選択することにより二通りの制御が可能である。切り換えは、運転中常に可能である。

図5.3～図5.8に各行程の系統図を示す。

(a) 起動準備行程

起動準備操作を行うと各系統が順次起動し、起動条件を順次満たして行く。

空気系は、高圧貯気槽設備⁵⁾より直接導かれた配管上に設置した補助系空気弁を全開にし、減圧弁で700 kPaGの操作空気圧力に減圧される。操作空気は調圧弁でシール空気圧に調圧してシールポケットに供給される。

潤滑油系は、シールポケット圧を確認して、潤滑油ポンプ2台を起動して上油槽への貯油を早め、貯油量が確保されると1台の潤滑油ポンプが停止する。

ターニング系は、軸受への潤滑油の供給を確認した後、ターニングを開始する。ターニング時間は、送風機の状態により一律に限定できないので、運転員の判断で停止タイミングを取ることになっている。

再起動等の起動間隔が短い場合、ターニングの必要がない時には、起動準備操作前にターニング不要を選択していれば、ターニングをすることなくターニング系の起動条件を満たすことができる。

風洞側準備状況、風路状態等を主送風機駆動用運

転・制御システム²⁾が監視しているので、「起動準備完了」は、一括信号で条件成立の信号を受けて表示される。

補助送風機設備範囲外の冷却水ポンプ、11kV電源受電は、運転員の操作による。

(b) 起動行程

起動操作により主遮断器が投入され、二次短絡装置によって起動電流を100%以内に抑えて加速し、二次短絡した後電動機系の起動が完了する。電動機の起動完了後、送風機は、静翼開度を全閉(15°)から25°に高速(3秒)で開いてから送風機保護装置を活かして起動が完了する。起動完了までの時間は2分強である。

送風機が運転状態で、VA1弁が全閉で測定部との縁が切れている状態を「待機中」と定義している。

(c) 抽気開始行程

待機中からVA1弁を全開にしてマッハ数制御に移るまでの行程を抽気開始行程という。

行程開始前に、主送風機との帶動運転を始めるマッハ数に合った静翼開度とVA2弁開度を設定入力しておく。

自動運転を選択した場合は、デジタル制御によって判断される、設定マッハ数とインターロックを加味した抽気開始指令により、行程が開始される。

静翼開度が設定開度まで動き、VA2弁の絞り調整により、VA1弁の上流、下流の差圧をなくす。差圧なしの信号を受けて、VA1弁が全開になる。その後、VA2弁が設定開度まで動き、静翼によるマッハ数制御に入る。

また、手動選択により運転員のタイミングで行程を開始することができる。

(d) 待機行程

手動選択とノズル形状が起動位置であれば、待機操作で帶動運転で行っている風洞実験状態からVA1弁を全閉にして待機中状態にすることができる。

(e) 停止行程

待機中状態でなければ電動機が停止できないので、停止操作により、VA1弁の開閉状態を判断して、弁が全開であれば、待機行程を経て主遮断機を遮断する。

電動機停止後、惰性で回転している送風機を早く停止させるように、シーケンス制御で自動的に静翼を開いて、送風機に流れる空気量を増やし、慣性力を弱めて停止完了時間を短くする設計となっている。

送風機は20分強で停止完了するが、安全性から、運転員が完全停止を現場確認してから、シーケンス回路に確認入力を行うと、静翼を全閉位置に戻して停止行程が完了する。

(f) 休止行程

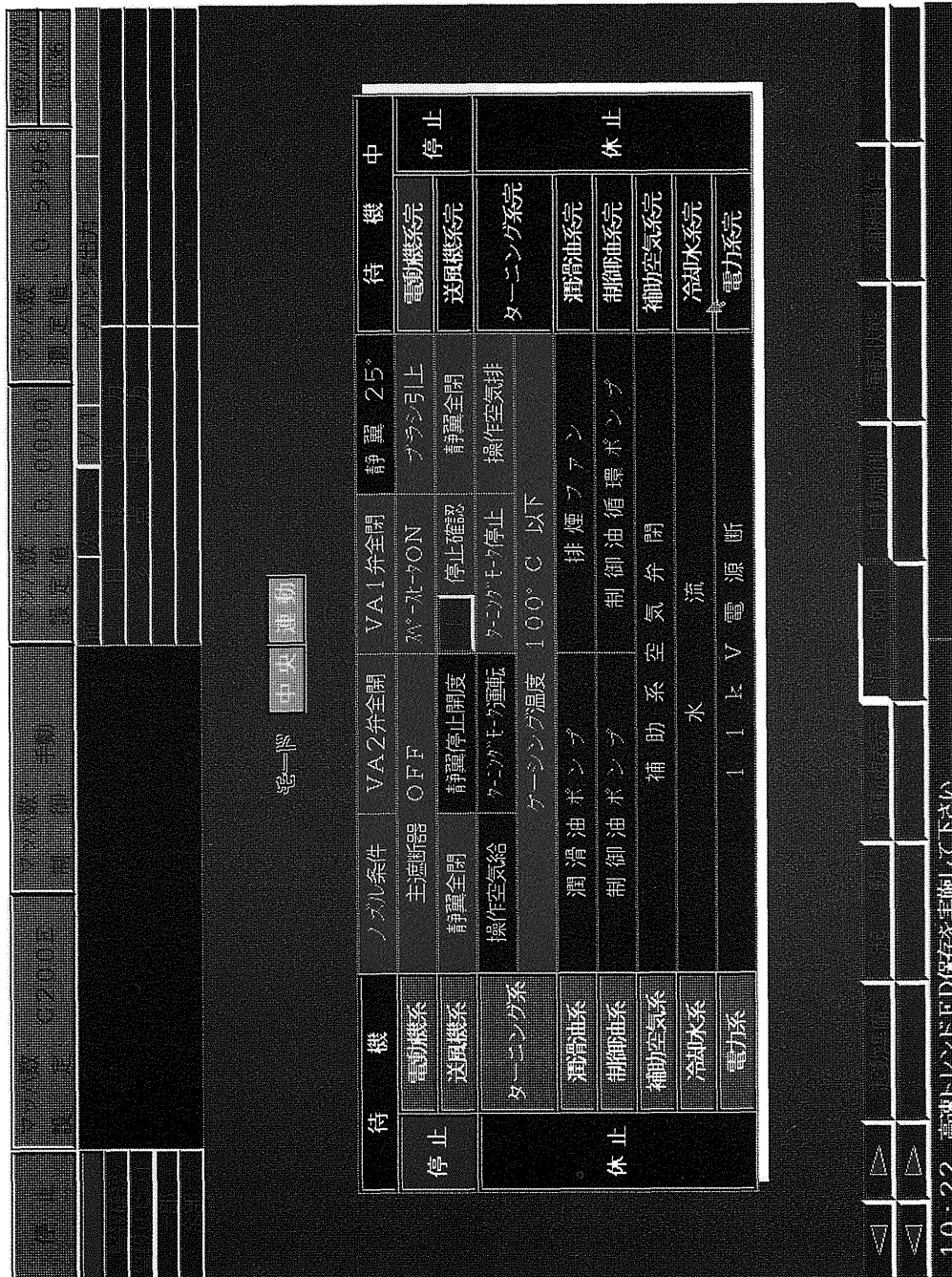
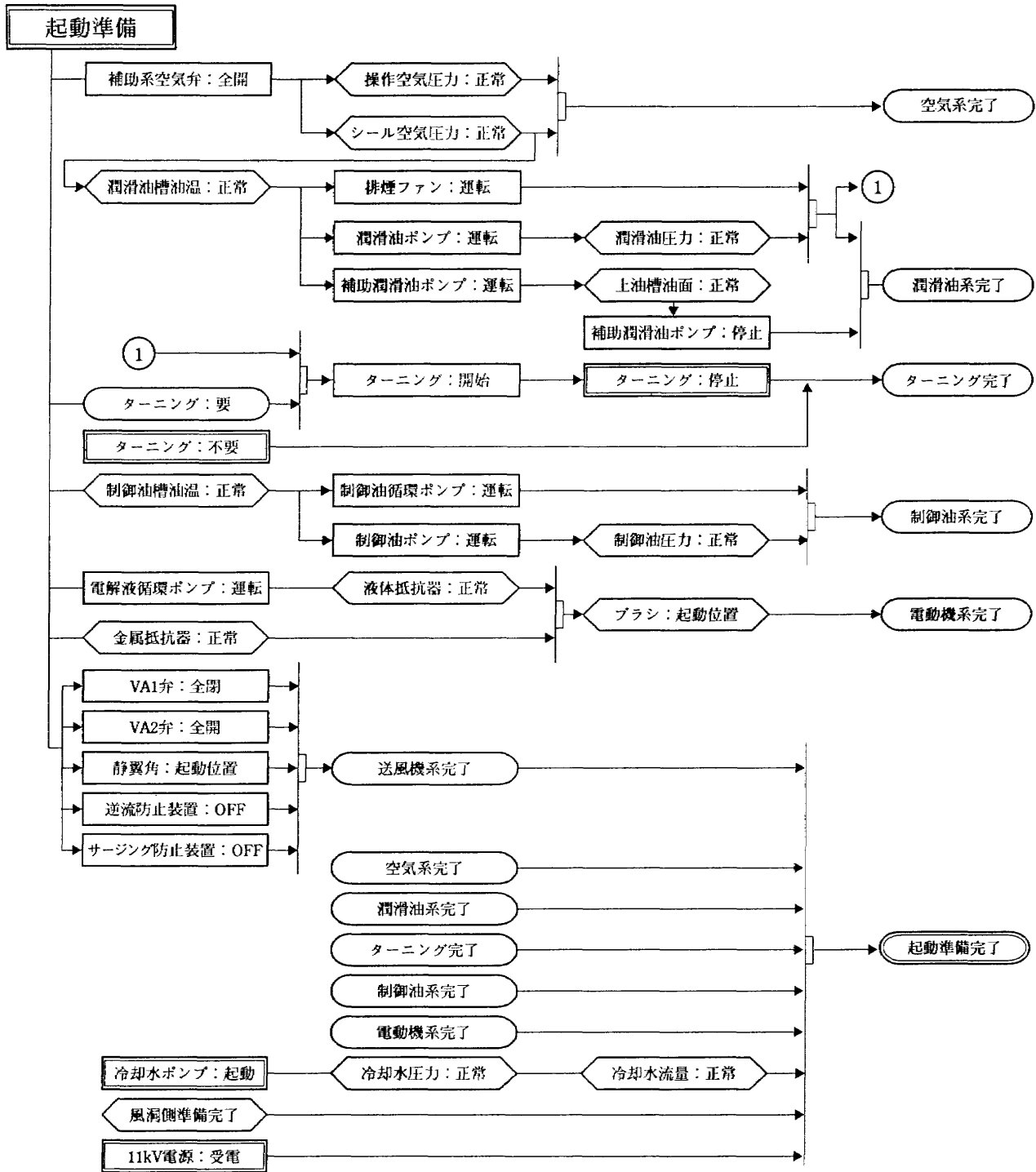


図5.2 CRT画面例



記号説明 (以下の図に於いても同様)

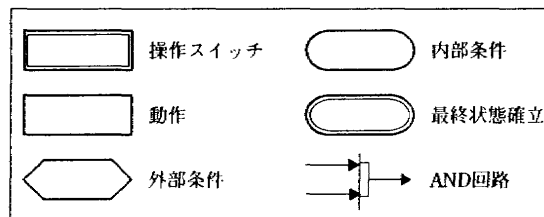


図5.3 起動準備操作系統

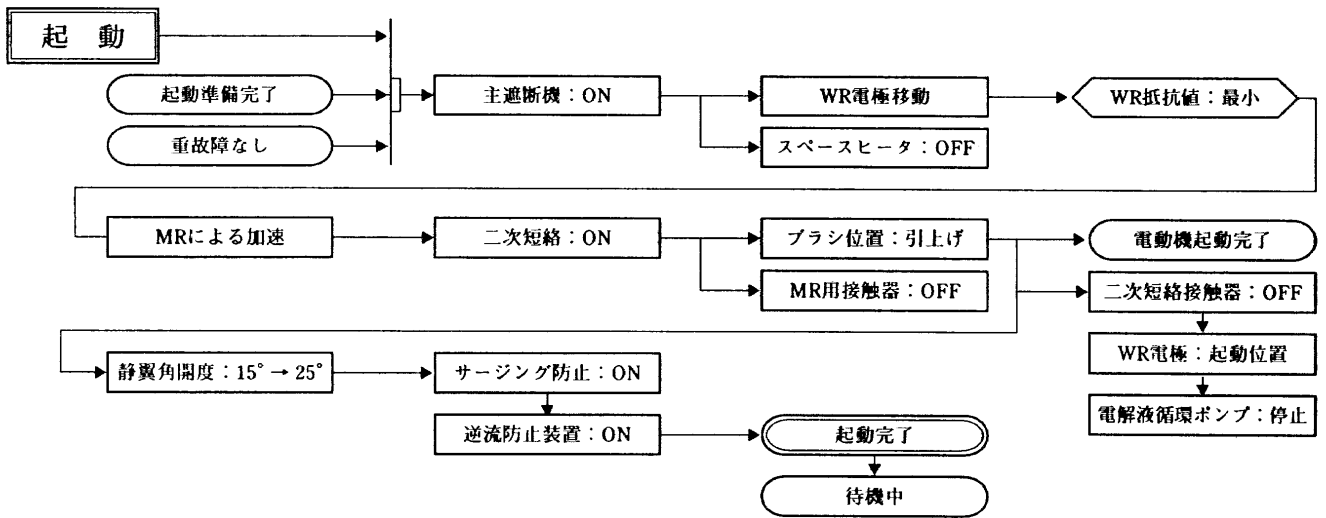


図5.4 起動操作系統

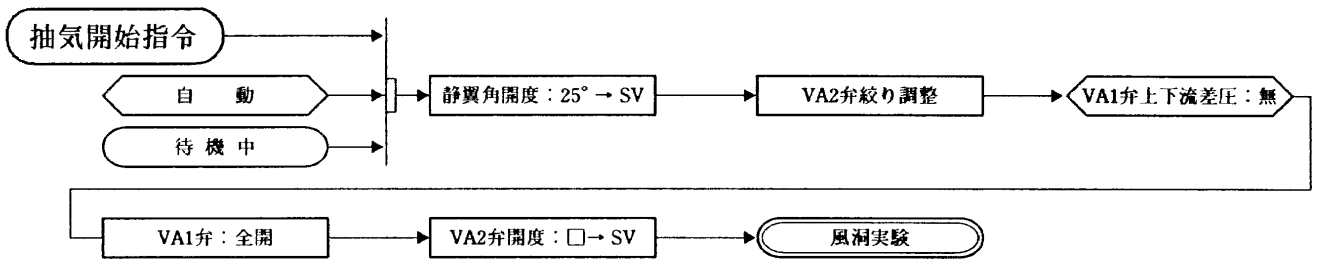


図5.5 抽気開始行程操作系統

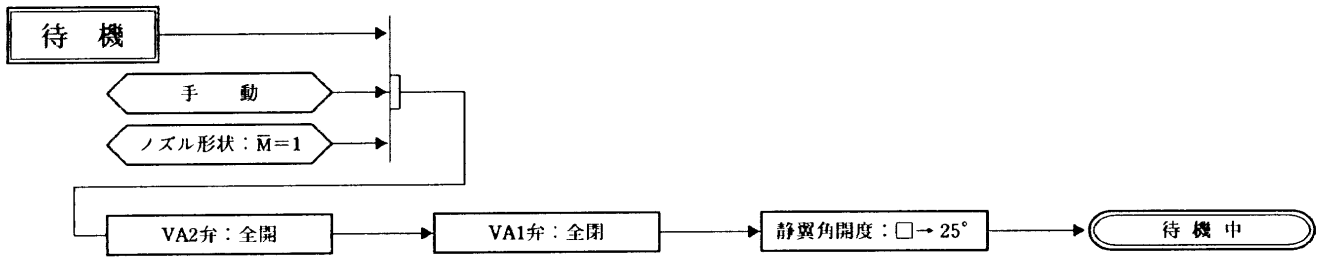


図5.6 待機行程操作系統

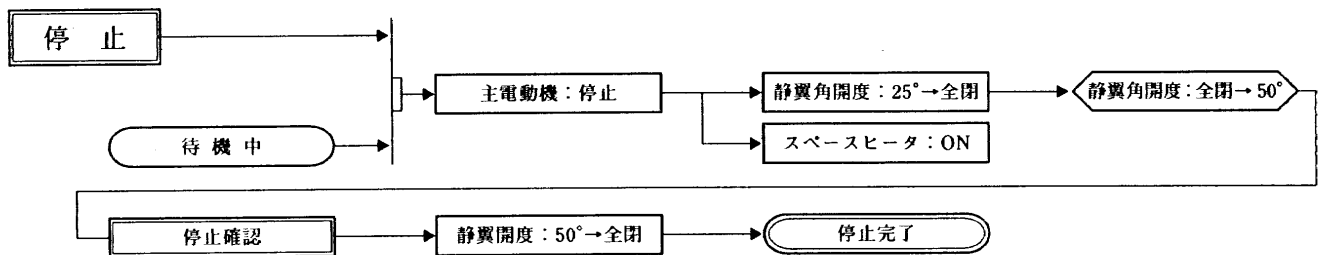


図5.7 停止操作系統

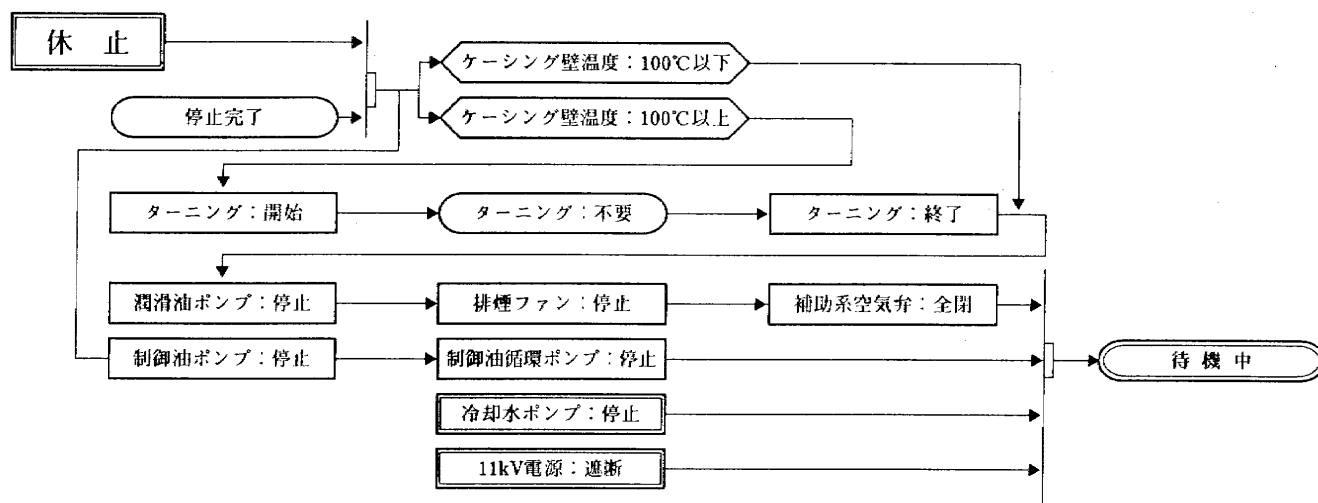


図5.8 休止操作系統

停止後のターニング必要条件は、送風機ケーシング壁温度が100℃以上の場合と定めているので、休止操作によりターニングに関係のない補機類は停止するが、ターニングが必要な時には、ケーシング壁温度が100℃以下になる迄ターニングを続け、ターニングが不要となったのち関係補機類を停止して休止完了となる。

(g) 非常停止行程

非常停止操作により、主遮断機が遮断すると同時に、静翼は全閉位置、VA2弁は全開、VA1弁は全閉なる。その後は、停止行程と同様である。

5.2 マッハ数制御

補助送風機により、 $M=0.8\sim 1.4$ の範囲でマッハ数の制御が行われる。

マッハ数制御は、自動制御、手動操作にかかわらず、制御信号の出力によって、送風機の静翼の開度を決定する静翼変節用電気油圧ステッピングシリンダが制御され、所要のマッハ数になる。なお、静翼可変だけで制御できない範囲に於いてはVA2弁を操作することとなる。

オペレータコンソール上に設けられた選択スイッチによって、「MACTUS」を選択すれば主送風機駆動用運転・制御システムを、「G200E」を選択すれば本設備運転制御システムを選択することができる。選択したシステムから静翼開度、VA2弁にたいして操作接点信号(制御信号)の出力が可能となる。

(1) 手動操作

手動操作では、オペレータコンソール上に設けられた静翼、VA2弁用の「開」、「閉」スイッチを操作することによって、操作接点信号が出力され、マッハ数に変化が生じるので、デジタル表示器に表示される測定マッハ数を見ながら所要のマッハ数が設定される。

また、2通りの静翼操作速度を選択することが出来る。

(2) 自動制御

図5.9に、マッハ数制御装置の概念図を示す。自動制御に於いても、両システムで制御が可能である。特に、「MACTUS」の選択を行えば、主送風機駆動用運転・制御システムの操作端としての機能²⁾をもつことになり、風洞試験において、すべてのマッハ数の自動制御と、集合胴総圧制御、集合胴総温度制御の設定が可能となる。

(a) 入出力信号

(i) マッハ数設定値

(1) MACTUS選択

主送風機駆動用運転・制御システムから出力される設定値は、アナログ入力(設定マッハ数0.5~1.5は4~20mADCに相当する)で読み込まれる。通常は、小数点以下3桁目を四捨五入し、小数点以下2桁目迄が演算システムの設定値となる。しかし、「ノズル変更中」の信号がある場合には、読み込んだ設定値の小数点以下5桁目を四捨五入し、小数点以下4桁迄が設定値となる。

(2) G200E選択

オペレータコンソールから入力される値そのものが設定値となる。しかし、「ノズル変更中」の信号がある場合には、ノズルマッハ数に、制御パラメータとして設定されている設定値増加分を加えた値が設定値となる。

(ii) マッハ数測定値

主送風機駆動用運転・制御システムからデジタル信号(BCD)で入力される。

(iii) ノズルマッハ数

主送風機駆動用運転・制御システムからアナログ信号(ノズルマッハ数1.0~1.5は4~20mADCに相

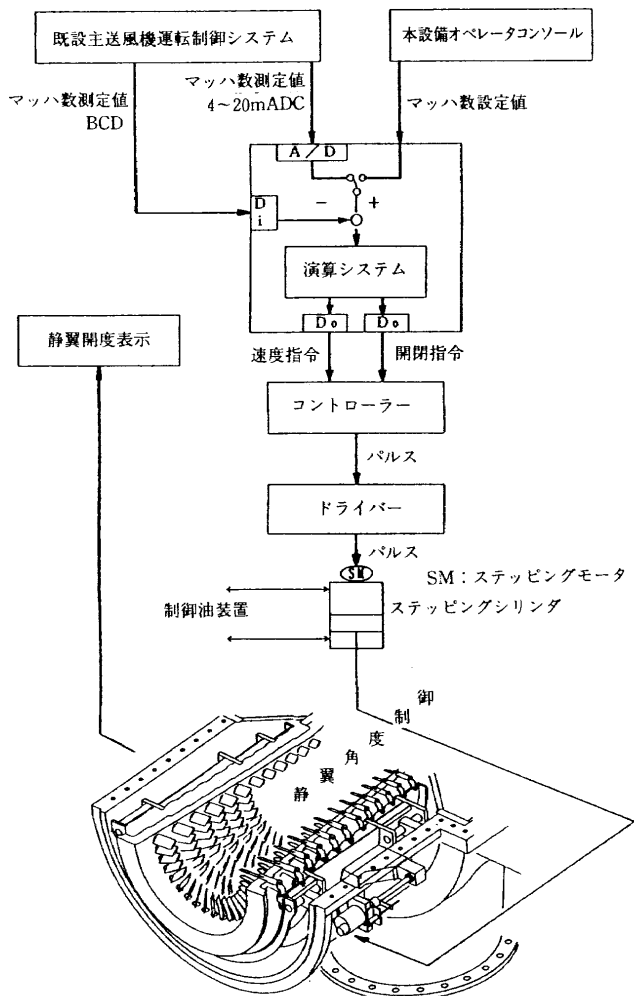


図5.9 マッハ数制御装置概念図

当する)で入力される。

(iv) ノズル変更中

可変ノズル⁶⁾が形状変更開始から形状設定完了迄の間をONとする接点入力を受けて、設定値の処理方法が選択される。

(v) MACTUS制御モード

「MACTUS」が選択されている時に、マッハ数自動制御の制御方式がCモード方式である場合に、ONとする接点入力を受けていなければ本システムの自動制御が中止される。

(vi) マスク処理

主送風機駆動用運転・制御システムが監視する風洞側の状態が、本設備との帶動する状態でない場合にONとする接点入力を受けとってれば自動制御が中止される。

(vii) 接点出力

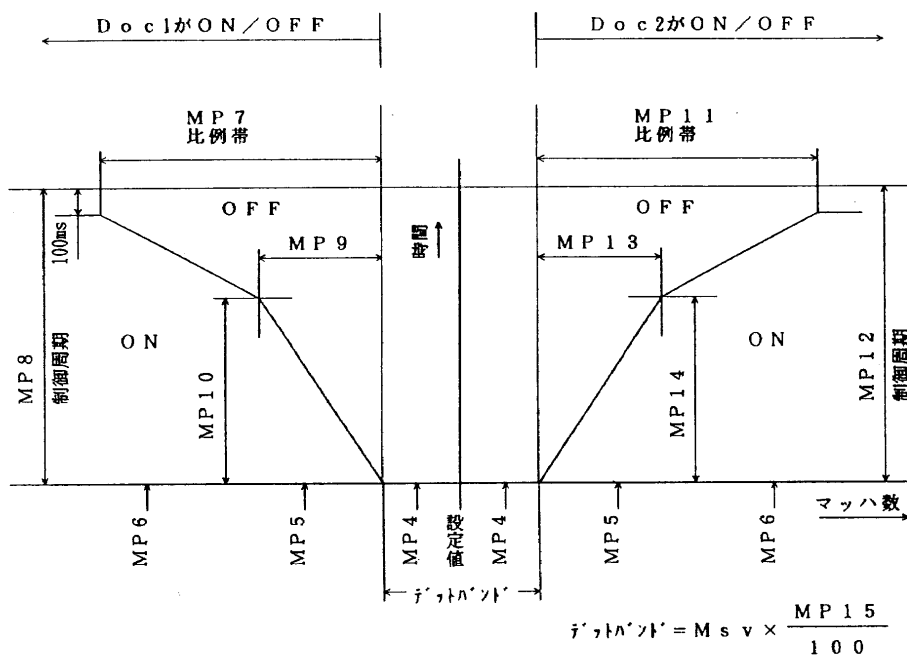
演算システムの処理信号は、静翼開閉指令の2接点と開閉速度を決める6接点の操作信号を操作端に出力する。

(viii) 操作端

現場操作盤に装備されているコントローラ、ドライバーを介してパルス信号がステッピングモータに送られ、電気油圧ステッピングシリンダの制御油の供給量が調整され、シリンダの操作力によって静翼の開度が設定される。

(b) 制御内容

図5.10に自動制御の動作図と表5.1に接点出力につ



MP 4 ~ MP 15 : 可変パラメータ

図5.10 自動制御の動作図

表5.1 マッハ数制御接点出力

条件 接点出力	マッハ数設定値		MP4 ≤ ΔM ≤ MP5	MP5 < ΔM < MP6	MP6 ≤ ΔM	Mp v < Ms v	Mp v > Ms v
	MP2 ≤ Ms v ≤ MP3	MP3 < Ms v					
Doc1						ON/OFF	
Doc2							ON/OFF
Doc3	ON						
Doc4		ON					
Doc5			ON				
Doc6				ON			
Doc7					ON		

注：上表中、空欄は全てOFFとする。

【記号説明】

- MP1～MP6 : 可変パラメータ (オペレータコンソールより設定)
- Ms v : マッハ数設定値
- Mp v : マッハ数測定値
- ΔM : Ms v - Mp v
- Doc1 : 静翼開指令
- Doc2 : 静翼閉指令
- Doc3～Doc7 : 静翼開閉速度を決める指令 (コントローラで組合せにより速度を決める)

いて示す。マッハ数制御を設定値の±0.1%以内の精度で制御できるようにするために、演算システムの計算分解能は0.025%と設定されている。

自動制御方式の基本形は、比例制御で行われている。また、操作端の速度制御のため、マッハ数設定値及び偏差により接点信号が出力され、ステッピングシリンダのコントローラのパルス出力数が変わえられるようになっている。

5.3 サージング自動防止制御

図5.11にサージ防止制御系統図を示す。本制御は、吸込流量(Q₂)と送風機圧力比に一定の関係(サージ防止ライン)をもたせ、送風機がサージングに入らないようにVA2弁を制御することと、オペレータコンソールでの手動操作によるVA2弁の開閉操作、スケジュール発生器による開度設定によるVA2弁の作動に関する監視をも含めた制御装置である。

さらに、本制御装置とは別に逆流防止制御装置を設けて、サージング防止装置が何らかの異状で作動せず、サージングに突入した時に、VA2弁を緊急に「開」にして、

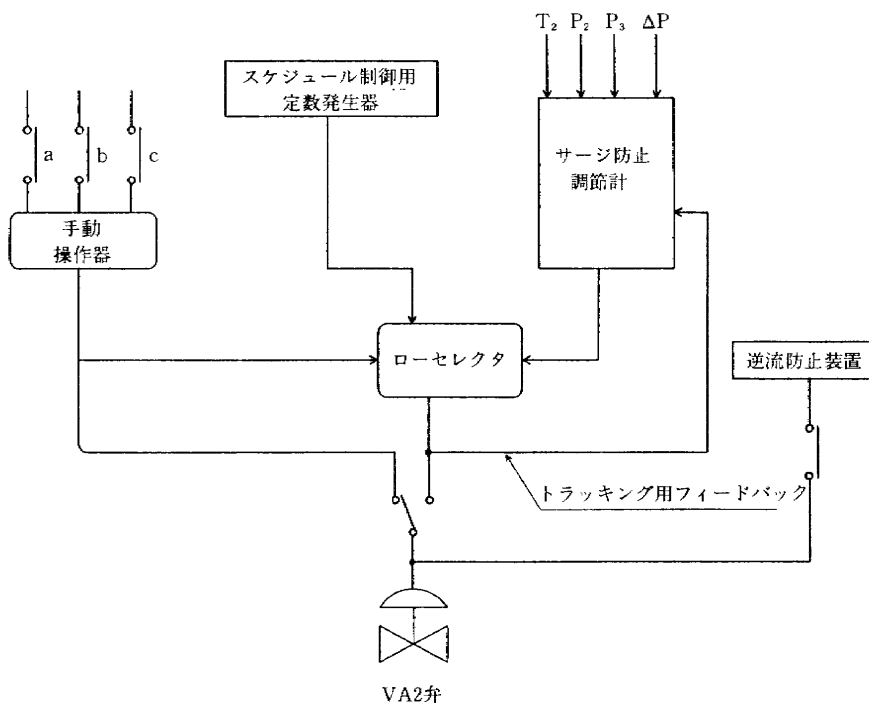


図5.11 サージ防止制御系統図

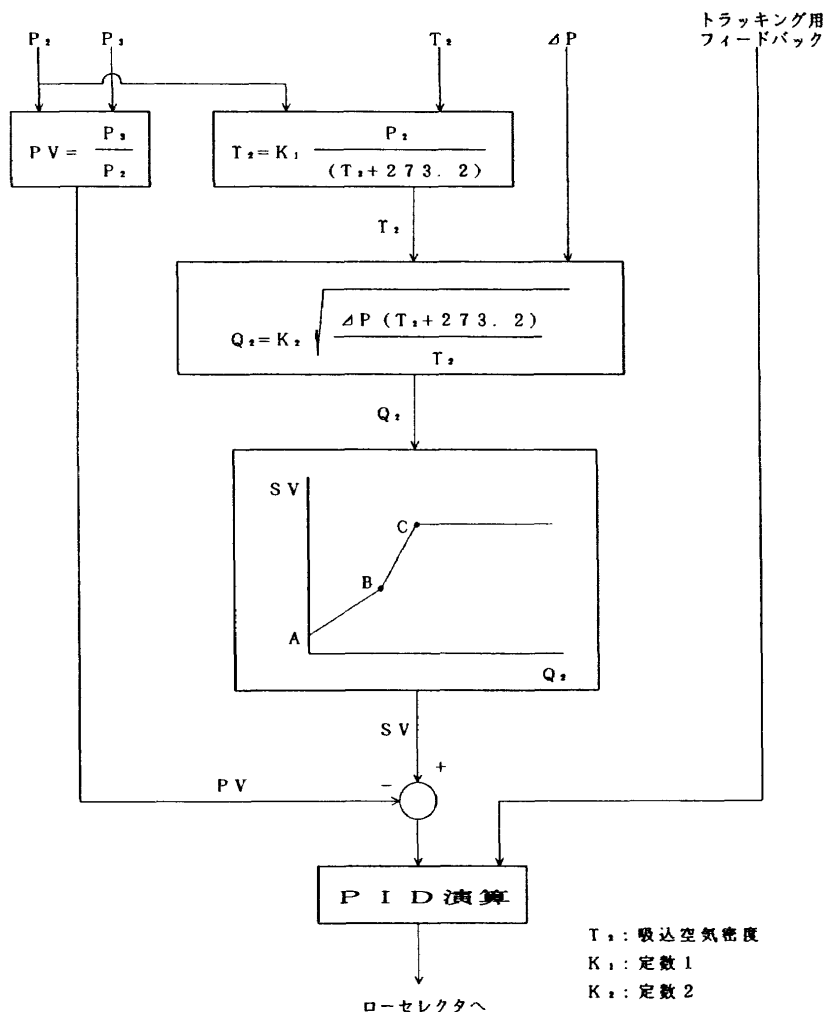


図5.12 サージ防止調節計演算回路

送風機を損傷から守る二重の安全装置を有している。

(1) 制御内容

サージ防止調節計の演算回路を図5.12に示す。送風機吸込み圧力(P_2)、吐出圧力(P_3)、送風機の入口ケーシング部を利用して計測した差圧(ΔP)、及び入口温度(T_2)を入力し、送風機吸込み流量とサージ防止ラインから求まる設定圧力比と測定圧力比(P_3/P_2)を比較し、設定値を上回らないようにPID演算部にて処理されたVA2弁開度設定値がセレクタへ出力される。なお、サージ防止調節計自体は、送風機の運転中は常に自動制御の状態にある。

セレクタからは、サージ防止調節計、スケジュール発生器及び手動操作器のそれぞれから設定される入力値から安全性の高い値を選択して、VA2弁を操作するアナログ信号(4~20mADCがVA2弁開度90°~0°に相当し、表示スパンは100~0%とする)をVA2弁の作動機構に出力される。

スケジュール発生器の定数(抽気開始行程のVA2弁開度設定値等)はオペレータコンソールのCRTとの会話方式で入力され、セレクタに出力される。

手動操作器は、「開」、「閉」、「全開」の指令(中央監視盤からの接点信号、オペレータコンソールのスイッチからの接点信号、MACTUSからの接点信号及びG200Eでのロジック判断)を受けて、アナログ信号に変換したのち、セレクタ及びVA2弁の操作機構に出力される。

送風機運転中は、VA2弁の作動機構にはセレクタ側の信号が選択されることによって、送風機は、運転員の手動介入によるVA2弁に対する誤動作等から起こるサージングから保護されている。

CRTに図5.13に示す画面が表示され、送風機の運転状態がリアルタイムで表示(点灯)される。画面上に描かれたサージング防止ラインに運転点が接近すると、警報が発せられると同時に、サージ自動防止調節計の出力がVA2弁を制御して、サージング防止ラインを越えないように圧力比制御が行われる。また、制御不良等で、強制バイパスラインに達すると、VA2弁が緊急に「全開」となる。このような処置を行っても、異状状態が回避出来ない場合、逆流防止制御装置によって送風機の非常停止が行われる。

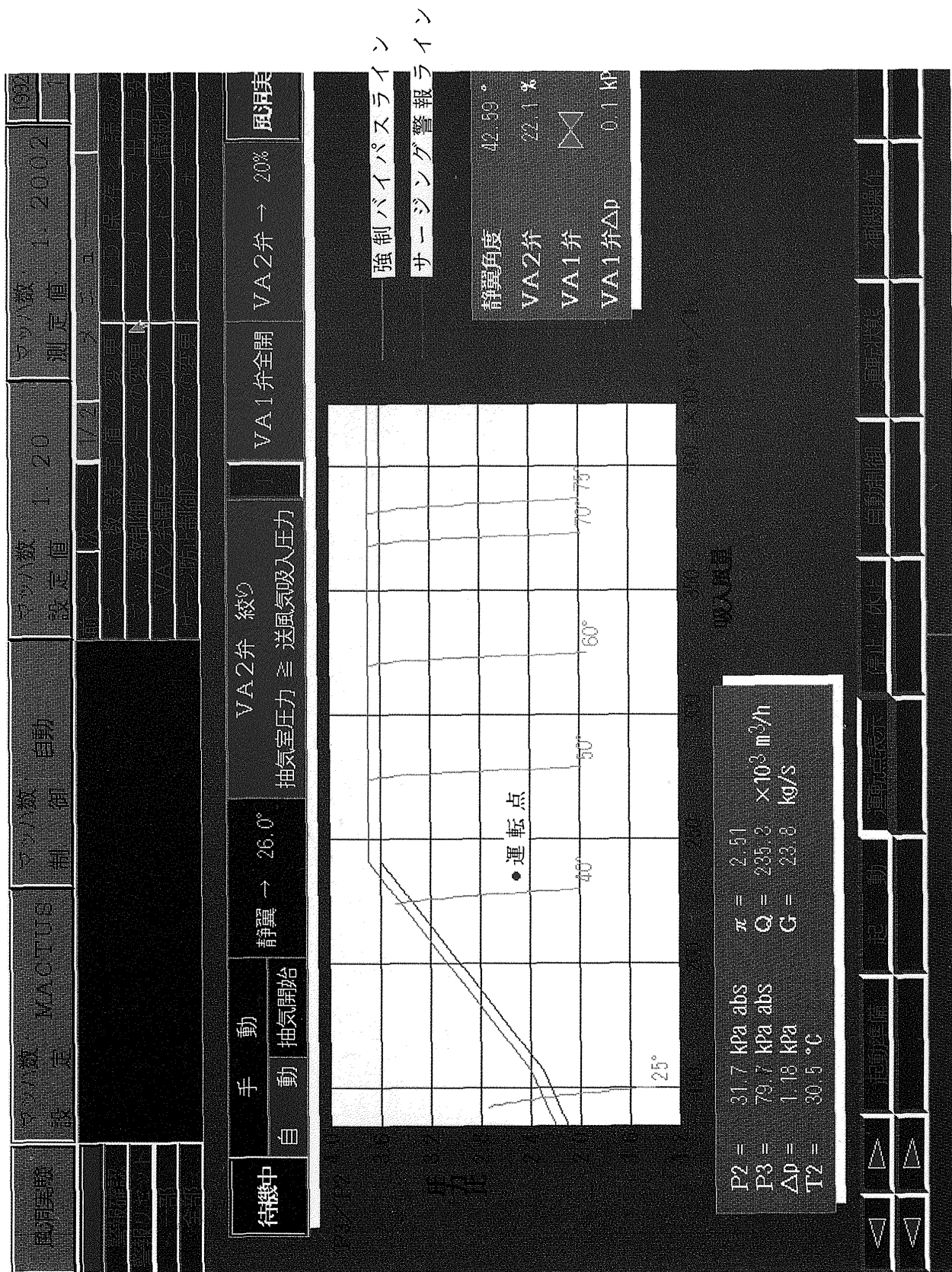


図5.13 送風機運転点表示

6. 更新設備の性能

ここでは、その性能に対する実証例の一部を紹介する。

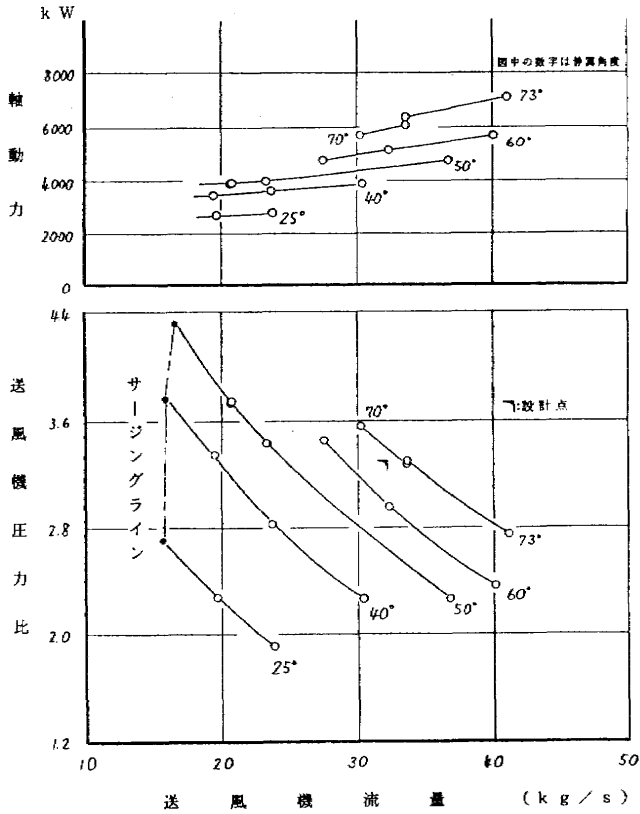


図6.1 補助送風機性能曲線

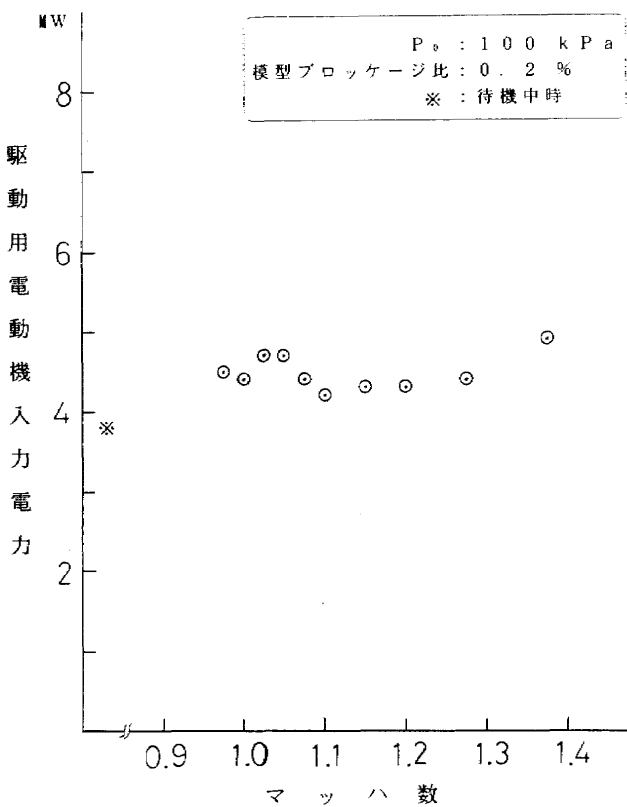


図6.2 電動機入力電力変化

(1) 補助送風機の性能特性

送風機性能試験において得られた結果を吐出圧力100 kPa, 吸込み温度60°Cの条件で計算処理された結果を図6.1に示す。

図から解るように、設計点仕様を満たし、送風機のサージング領域から離れた所で、静翼が変化し、広範囲の吸込み流量が調節できる。また、流量に伴って軸動力も変化することから、風洞実験に於いて、必要流量に見合った消費電力となるので、省エネルギー効果を発揮できる。

(2) 消費動力の軽減

集合胴総圧100kPaの条件で、ブロックージ比約0.2%の供試模型を測定部に装着した試験時のマッハ数に対する駆動用電動機の入力電力を図6.2に示す。

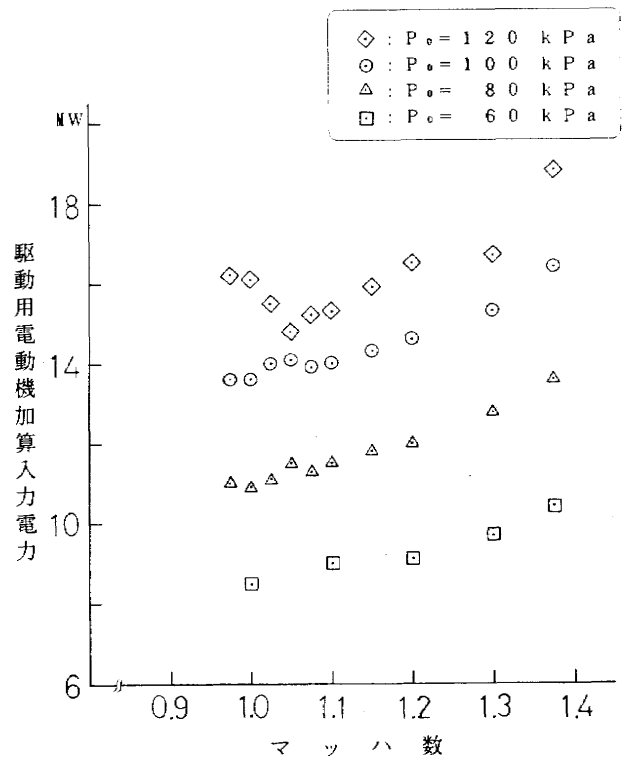


図6.3 P₀変化による所要電力変化

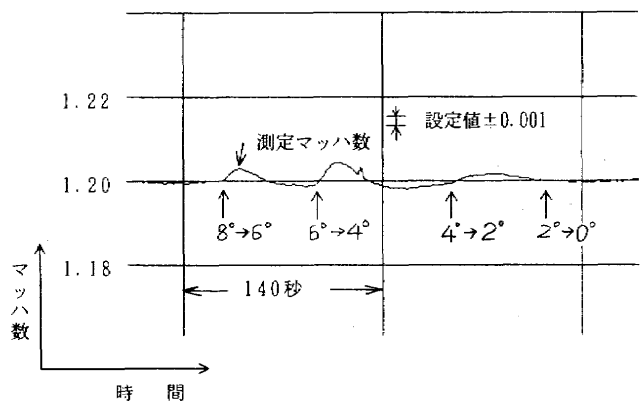


図6.4 自動制御時のマッハ数変化

旧設備での入力電力は約10,000kW一定での運転であったのに比べ、新設備の入力電力は、各マッハ数ごとに变化して4,000~5,000kWになっている。

ここで、新設備の送風機設計点での所要動力は6,000kWであるので、送風機設計流量を削減した効果が4,000kW。6,000kWと図中の入力電力との差が容量調節機構を有した本設備の効果であるといえる。

なお、この試験では、VA2弁が45~60%の開度であったのでバイパス制御の併用となっている。

(3) 風洞運転範囲

ブロックage比約0.2%の供試模型を測定部に装着し、集合胴総圧を変化させた時の主送風機駆動用電動機との加算電動機入力電力を図6.3に示す。

遷音速風洞特別改修の計画の実行により、更新工事前に行っていた試験条件の負荷制限を解除することにより試験条件範囲が広がった。また、遷音速風洞設備として20MWの電力を確保すれば、集合胴総圧120kPaの試験が行えることを示している。

(4) マッハ数自動制御

マッハ数自動制御中(設定マッハ数1.2)のマッハ数の変化を、本設備監視システムの一つである計測周期1秒間隔のトレンドデータから抜粋し表示したものを図6.4に示す。

同図は、供試模型(AGARD-B模型)の姿勢角を2°ごとに変化させた時に生じるマッハ数の変化を、設定マッハ数に収束させている様子を表している。

模型姿勢角の変化によるマッハ数の変化を、自動制御によって、設計仕様である設定値の±0.001以内に収束させている。

7. まとめ

本更新工事で得られた成果は下記の通りである。

- (1)測定部に必要とされる抽気量に応じた消費電力の値で運用できるため省エネルギー化が図れた。
- (2)駆動用電動機の最大定格出力で、8,000kW迄引き下げることができ、所内大型設備の運用上で問題となる総使用電力の緩和が図れた。
- (3)複雑な操作を行うことなく、マッハ数の自動制御が可能となった。
- (4)中央集中管理での運転・監視が可能となり、運転員の作業環境を著しく向上させた。
- (5)機能回復により、集合胴総圧120kPaの条件下でのマッハ数1.4迄の試験が可能となった。
- (6)旧設備に比べて、起動完了までの時間を、約1/5に短縮することができた。

8. あとがき

本更新工事により、多くの改善を生みだし、補助送風機設備として最適な設備を構築することができた。なお、本更新工事で得られた成果の詳細については、文献TM-656の6章に報告されている。

風洞の高性能化に向けて、遷音速風洞の設備全体の運転方法等を含め以下に述べることを検討する必要がある。

(1) 遷音速風洞における省電力運転の検討

6章でも紹介したように、風試に使用される大部分の模型のブロックage比が0.3%以下であることから、マッハ数制御に於いて、VA2弁の開度が40~60%としたバイパス制御との併用でマッハ数制御が行われている。このような場合、補助送風機の処理流量は、抽気量とバイパス量を合わせた量となるのでバイパス量をなくすことによって、補助送風機の抽気量に対しての動力効率を向上させることができる。

バイパス量をなくすことによって、抽気量が増加することになるので、その分測定部マッハ数は増加する。同じマッハ数を保つには、主流量を減らさなければならない。減らした分、主送風機の消費電力は減少するので、両送風機の合計消費電力は少なくなる。このように、主流量と抽気量(バイパス量も変る)の配分量の割合の変化が、両送風機の消費電力にどのように反映されるかが不明なので、今後調査・検討することによって、遷音速風洞における最小消費電力運転方法を見つけることができる。

(2) 測定部気流の把握

同じマッハ数において、最小消費電力を求めるばかりでなく、主流量と抽気量の配分割合を変化させることによって、測定部気流の状態にどの様に変化を及ぼしてくるかが不明なので、マッハ数制御の安定性についても加味して、今後調査・検討をすすめて行きたい。

終わりに、本更新工事に際し、計画から更新工事まで、遷音速風洞の関係者をはじめ、多くの皆様に多大なご協力を頂いた。特に、遷音速風洞計測研究室の方々、管理部動力課の方々および遷音速風洞制御研究室半沢主任研究官、馬場主任研究官には甚大なご指導とご協力を頂いた。また、本工事は、石川島播磨重工業株式会社が主契約者となり、設計、製作、据付けがなされた。ここに関係各位に感謝の意を表します。

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 TR-25, 1962年3月
- 2) 鈴木正光, 唐澤敏夫, 小松行夫, 末永尚史, 戸田巨

- 洋：航技研2m×2m遷音速風洞用送風機系設備の更新について 航空宇宙技術研究所 資料 TM-656, 1993年7月
- 3) 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：航技研遷音速風洞の測定胴設備改修の概要について 航空宇宙技術研究所 資料 TM-674, 1995年1月
- 4) 鈴木正光, 戸田亘洋, 小松行夫, 唐澤敏夫：2m×2m遷音速風洞主送風機用駆動設備の更新(計画と構成について) 航空宇宙技術研究所 資料 TM-580, 1988年2月
- 5) 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) 航空宇宙技術研究所 資料 TM-634, 1991年3月
- 6) 細江信幸, 鈴木弘一, 小池陽, 河本巖, 海老原正夫：2m×2m遷音速風洞測定胴改修, その2 可変ノズル装置の改修について 航空宇宙技術研究所 資料 TM-680, 1995年4月

航空宇宙技術研究所資料698号

平成 8 年 8 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

Printed in Japan