

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-580

2 m × 2 m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)

鈴木正光 ・ 戸田亘洋
小松行夫 ・ 唐沢敏夫

1988年2月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	1
2. 更新計画	1
2.1 更新の範囲及び駆動設備の概要	1
2.2 更新の理由	1
2.3 更新の基本方針	4
2.4 サイリスタモータ駆動方式の採用	4
3. 更新機器の構成	4
3.1 主送風機駆動用電動機及び付属機器	5
3.2 主送風機駆動用電源設備	5
3.3 受配電設備	5
3.4 主送風機駆動用運転、制御システム	5
4. 主要機器	9
4.1 主送風機駆動用電動機及び付属機器	9
4.2 主送風機駆動用電源設備	12
4.3 受配電設備	19
4.4 主送風機駆動用運転、制御システム	19
5. まとめ	23

2 m×2 m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)*

鈴木正光** 戸田亘洋**
小松行夫** 唐沢敏夫**

1. ま え が き

航技研の2 m×2 m遷音速風洞¹⁾は、わが国唯一最大の設備であり、建設以来20数年間、遷音速領域(マッハ数0.6~1.4)における航空機あるいは飛しょう体まわりの空気の流れを解明する実験設備として、わが国の実機開発および基礎研究に多大の貢献をしてきた。

なお昭和60年10月をもって、本遷音速風洞の運転時間も積算時間で1万時間に達した。今後も本遷音速風洞の実験設備としての役割および使命は、増大し、風洞の基幹的役割は少なくとも20年以上は続くと予測されている。

しかし、以上の様な今後の要求があるにもかかわらず、近年本遷音速風洞設備の老朽化が進み、各部の大規模改修を行う必要が迫られてきており、特に風洞設備の中核部である主送風機の駆動設備の故障は、長期間風洞の機能を停止させ、航空機産業等の開発テンポを大幅に遅らせる要因になる。これらの理由により、遷音速風洞特別改修の計画が進められ、その一環として、主送風機用駆動設備の更新の概念設計が、昭和59年度に基本計画として完了し、それに基づいて、昭和60年度より更新工事に着工し、昭和62年5月末日で工事が完了した。本報告は、主送風機用駆動設備の更新の計画と構成について報告する。

又、運転制御システムの各種調整データは、現在整理中につき、後日報告する予定である。

2. 更新計画

2.1 更新の範囲及び駆動設備の概要

航技研2 m×2 m遷音速風洞の配置図を図2-1に示す。更新の範囲は、変電所の電源出力側以降の受電設備を含む全ての機器及びシステムであり、図2-1で黒塗り部分である。主な設備及びシステムは次のとおりである。

- 1) 主送風機駆動用電動機(22,500kW)
- 2) 主送風機駆動用電源設備
- 3) 受配電設備(変電所を除く)
- 4) 主送風機駆動用運転、制御システム

既存の駆動設備の概要は、図2-2(a)に示すとおりである。18,000kW誘導電動機と4,500kW直流電動機が直結し、長軸を介して、風洞内の主送風機を駆動する。

誘導電動機の世界制御には、すべり調整器として、液体抵抗器を用い、直流電動機の世界制御は、負荷時電圧調整器及び水銀整流器による電圧制御で行った。

2.2 更新の理由

既存の駆動設備は製作より、25年余り経過しており、駆動設備全体の老朽化が著しく、又、設備全体も旧式化している。そのため様々な問題を生じているが、その中でも特に大きな問題は次の4点である。

- 1) 18,000kW誘導電動機及び4,500kW直流電動機の絶縁耐力の極度の劣化²⁾
- 2) 4,500kW直流電動機の電源用水銀整流器の製造中止による保守の継続不能³⁾
- 3) 精密速度制御装置等の付帯装置の故障頻発

* 昭和62年9月22日受付
** 空気力学第二部

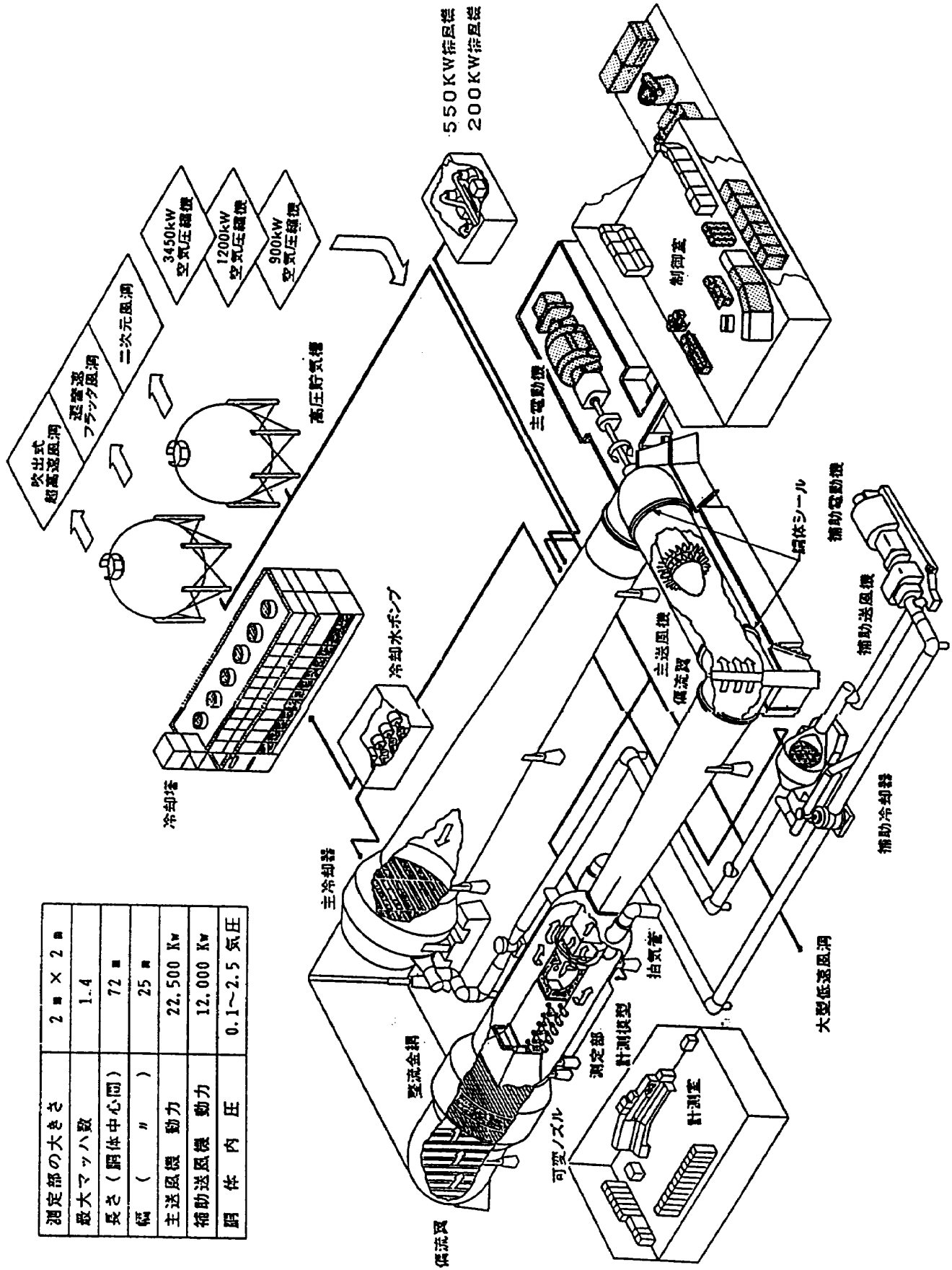


図 2-1 遷音速風洞配置図

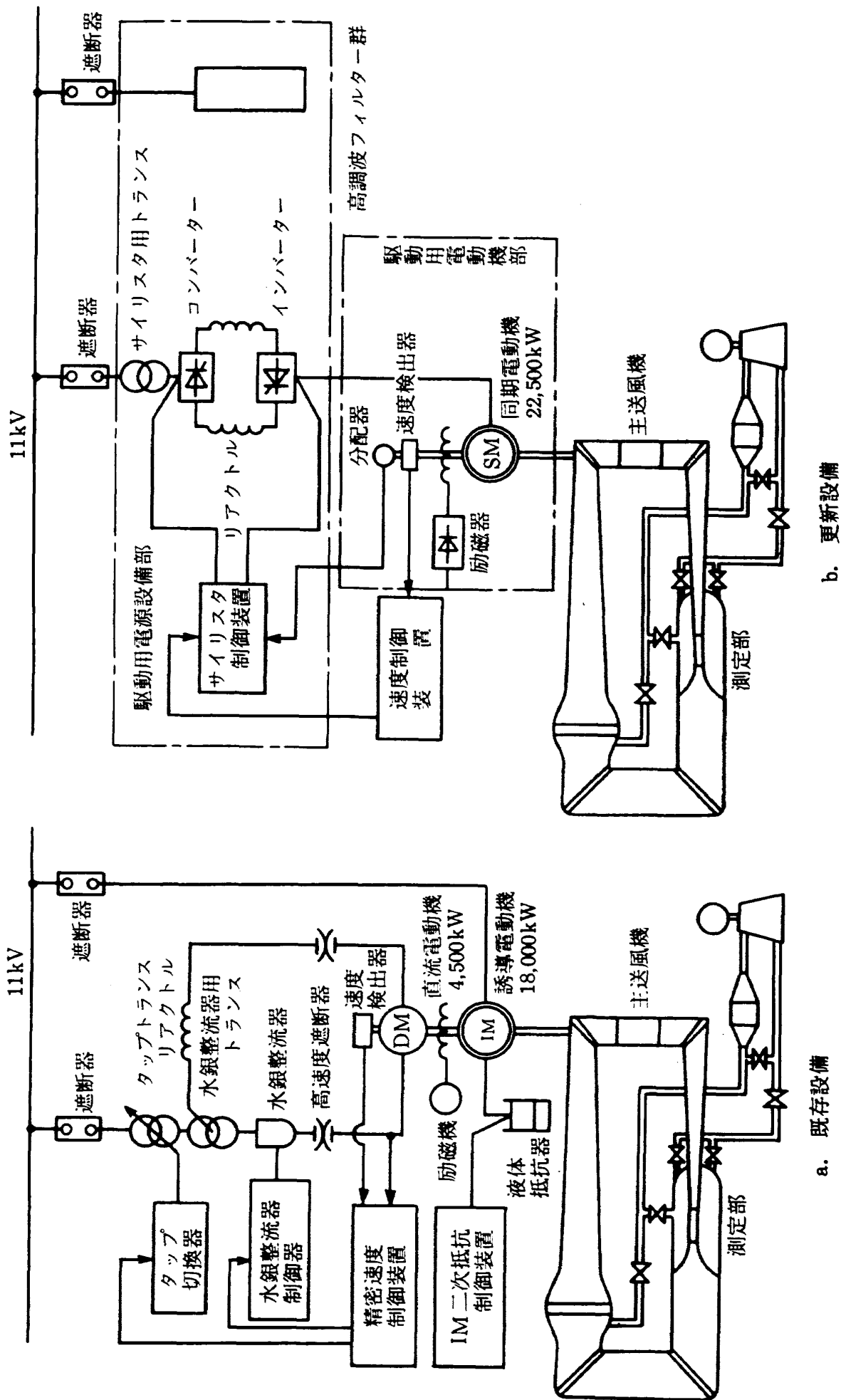


図 2-2 駆動設備構成図

による風洞運転効率の低下

- 4) その他、計装品等の故障時における部品調達等の困難

そのために故障時には、設備の修復又は更新に長期間を要し、風洞実験が更新期間停止する。

以上の理由により今回駆動設備全体の更新を行うこととなった。

2.3 更新の基本方針

更新に当り、次に示す基本方針によって機器の選定及び構成を行った。

- 1) 設備全体を単純化し、運転制御においては、計算機利用等により、運転保守作業の省力化
- 2) 消費電力の軽減化と、起動及び停止の所要時間を短縮して風洞の有効利用
- 3) 主送風機を始め既存設備との整合性
- 4) 制御装置は回転数制御のみならず風洞の気流静定に最適な制御方法の採用

2.4 サイリスタモータ駆動方式の採用

今回の更新設備の機器のうち、駆動設備の方式を既設18,000kW 誘導電動機及び4,500kW 直流電動機の複合駆動方式から、22,500kW サイリスタモータ単機による駆動方式に換えた。サイリスタモータを採用した理由を述べる。

- 1) サイリスタモータ方式の採用の理由

従来、可変速駆動方式の主流は、直流電動機を使用したサイリスタレオナード方式であったが直流電動機には、整流上の理由から、

- a) 単機の大容量化、高速化に対して、製作限界がある。
- b) 整流子、ブラシの接触、通電及び摩耗部分を有する。

などの問題があり、最近では、直流機に代って交流可変速システムの適用が各分野で採用されている。

遷音速風洞主送風機用駆動設備においては、22,500kW の大容量であり、かつ、70r.p.m.~710 r.p.m.と広い範囲の速度制御が必要であり、又、制御精度も最大回転数710r.p.m.の±0.03%以内と

いう高い精度が要求され、これらの要求を更新駆動設備は満たさなければならない。

各種交流可変速システムの中から以上の要求を満たすのは、サイリスタモータが最適であり、他の交流可変速システムに比べ主回路の構成が簡単であり、サイリスタ素子の数が少なく、変換装置は、コンパクトであり信頼性も高い。制御方式も基本的には、直流機なみの高い速度応答性、速度精度が得られる。

また近年、大容量のサイリスタモータが、各方面に採用されている。

以上の理由により、主送風機駆動にサイリスタモータ方式を採用した。なお、風洞駆動装置用として、単機では、世界最大の大容量である。

- 2) サイリスタモータの基本構成

サイリスタモータの基本構成は、図2-2(b)に示すように、同期電動機本体と回転子の位置を検出するための分配器(位置検出器ともいう)、および電動機の電源に当るサイリスタ変換装置から成り立っている⁴⁾。

サイリスタ変換装置は、交流を直流に変換するコンバータと、その直流を電動機に同期した交流に変換し、電動機を加減速するインバータによって構成される。

サイリスタモータの回転数およびトルクの増減は、インバータの入力電圧および電流を増減することによって得る。

本駆動設備の構成の詳細については、3章以降に述べる。

3. 更新設備の構成

更新した機器の構成を図2-2の(b)及び図3-1運転制御システム図に示す。前者の図は主に、下記の1), 2), 3) および4)の一部を示し、後者の図は主に4)の構成を示すものである。

各機器の構成は、下記に示す設備及びシステムごとについて述べる。

- 1) 主送風機駆動用電動機及び付属機器
- 2) 主送風機駆動用電源設備
- 3) 受配電設備(変電所を除く)

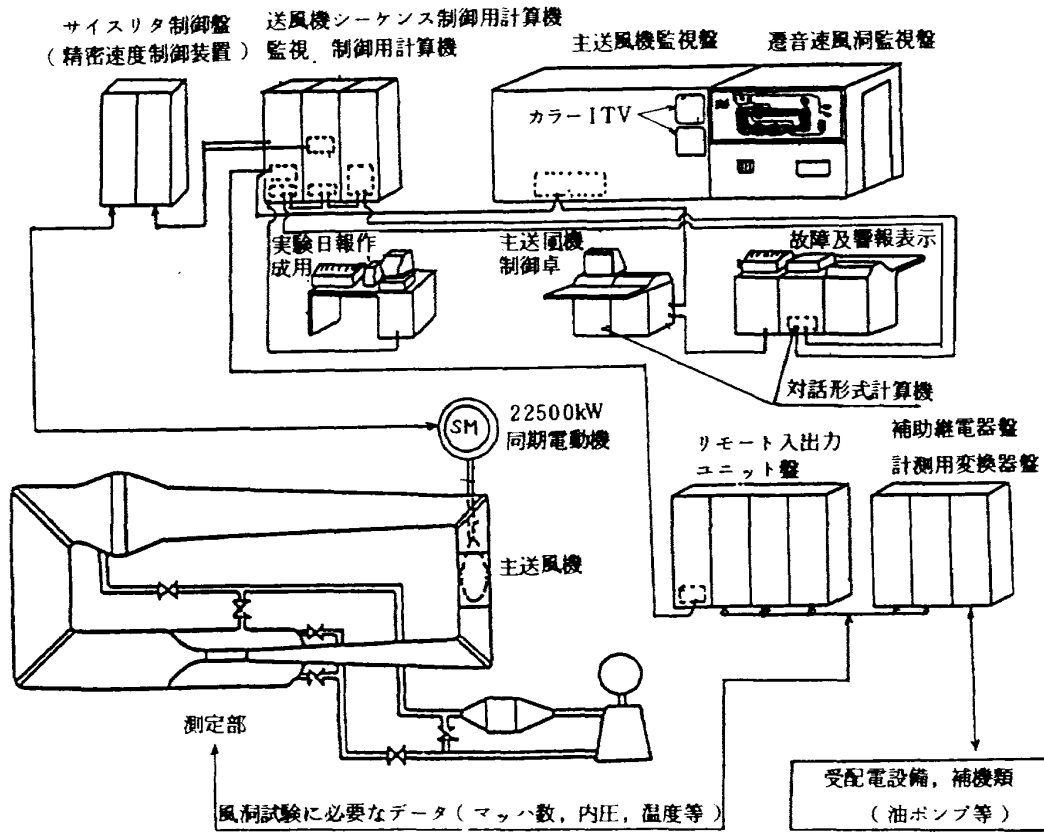


図 3-1 運転・制御システム構成図

4) 主送風機駆動用運転, 制御システム

図 3-2(a)及び図 3-2(b)に, 機器の配置図(1階)及び(2階)を示す。単線結線図を図 3-3に示す。又, 既設の駆動設備の詳細については, 文献 1) の 3 章及び 10 章を参照のこと。

3.1 主送風機駆動用電動機及び付属機器

図 2-2(b)に示すように, 主送風機駆動用電動機及び付属機器の構成は次のとおりである。

- 1) 22,500kW 同期電動機 1台
- 2) 分配器 1式
- 3) 励磁器 1式
- 4) 回転数検出装置 1式

3.2 主送風機駆動用電源設備

図 2-2(b)に示すように, サイリスタモータ方式を採用したので, 主送風機駆動用電源設備の構成において, 既設備との大きな差異はサイリスタ変換装置及び高調波フィルタ群である。電源設備の構成は次のとおりである。

- 1) サイリスタ用トランス 1式
- 2) サイリスタ変換装置 1式
- 3) リアクトル 1式
- 4) サイリスタ制御盤(精密速度制御装置) 1式
- 5) 高調波フィルタ群 1式
- 6) 無停電電源設備(CVCF) 1式

3.3 受配電設備(変電所を除く)

受配電設備の構成は次に示すとおりである。図 3-3の単線結線図を参照のこと。

- 1) 高圧遮断器盤類(11kV, 3.3kV 含) 1式
- 2) コントロールセンタ 1式

3.4 主送風機駆動用運転, 制御システム

図 3-1に更新した運転制御システム構成図を示す。運転・制御システムは, 主送風機の運転, 制御, 計測および遷音速風洞監視, データ収集を行うものである。制御及び監視装置において, 既設システムでは, 広角のアナログメータ群と表示

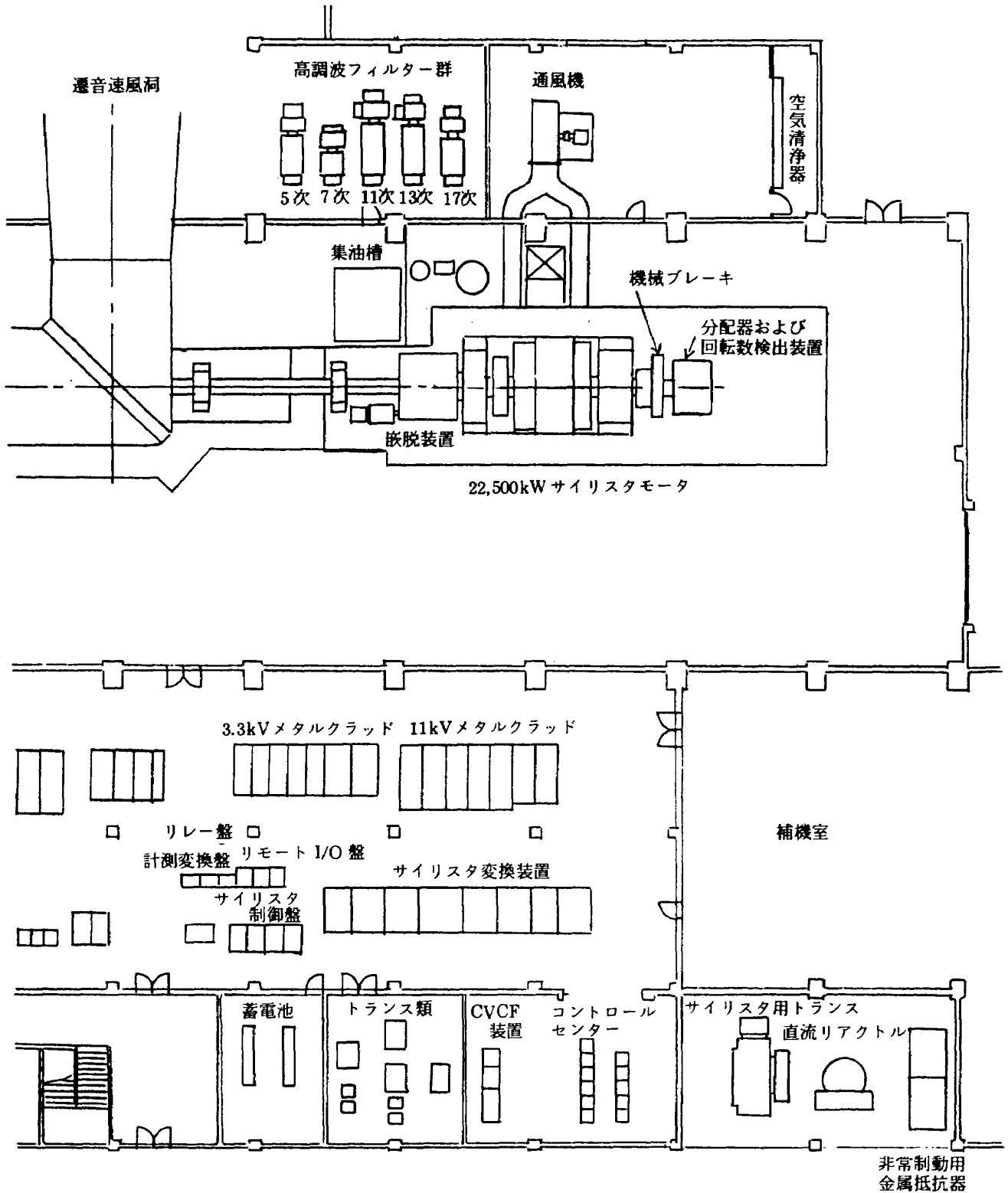
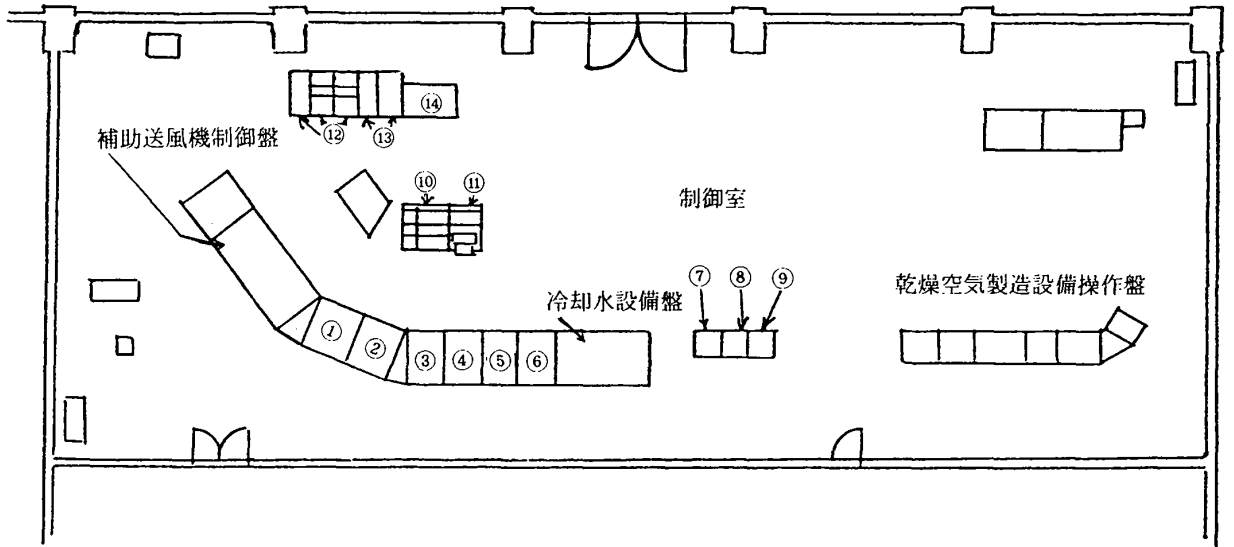


図 3-2(a) 機器配置図(1階)

2m×2m 遷音速風洞主送風機用駆動設備の更新

①～⑭ 更新した機器類



番号	名 称	番号	名 称
1	風洞監視盤	8	監視制御用計算機
2	風洞監視盤	9	主送風機シーケンス制御用計算機
3	主送風機監視盤	10	主送風機・制御卓
4	主送風機監視盤	11	対話形式計算機及び CRT
5	主送風機監視盤	12	対話形式計算機
6	主送風機監視盤	13	故障及警報表示ラインプリンター
7	MH バスステーション	14	実験回報作成用計算機

図 3-2(b) 機器配置図(2階)

用ランプ群及び主送風機用の補機類の起動操作把手類で構成されていたが、更新システムでは、電子計算機等を取り入れた構成である。

構成は次に示すとおりである。

- | | |
|---------------------------------|-----|
| 1) 中央監視制御装置 | 1 式 |
| 2) 監視盤 | 1 式 |
| 3) 主送風機制御卓 | 1 式 |
| 4) インタフェースシステム | 1 式 |
| 5) 遷音速風洞の集合胴内圧及び温度を
制御するシステム | 1 式 |

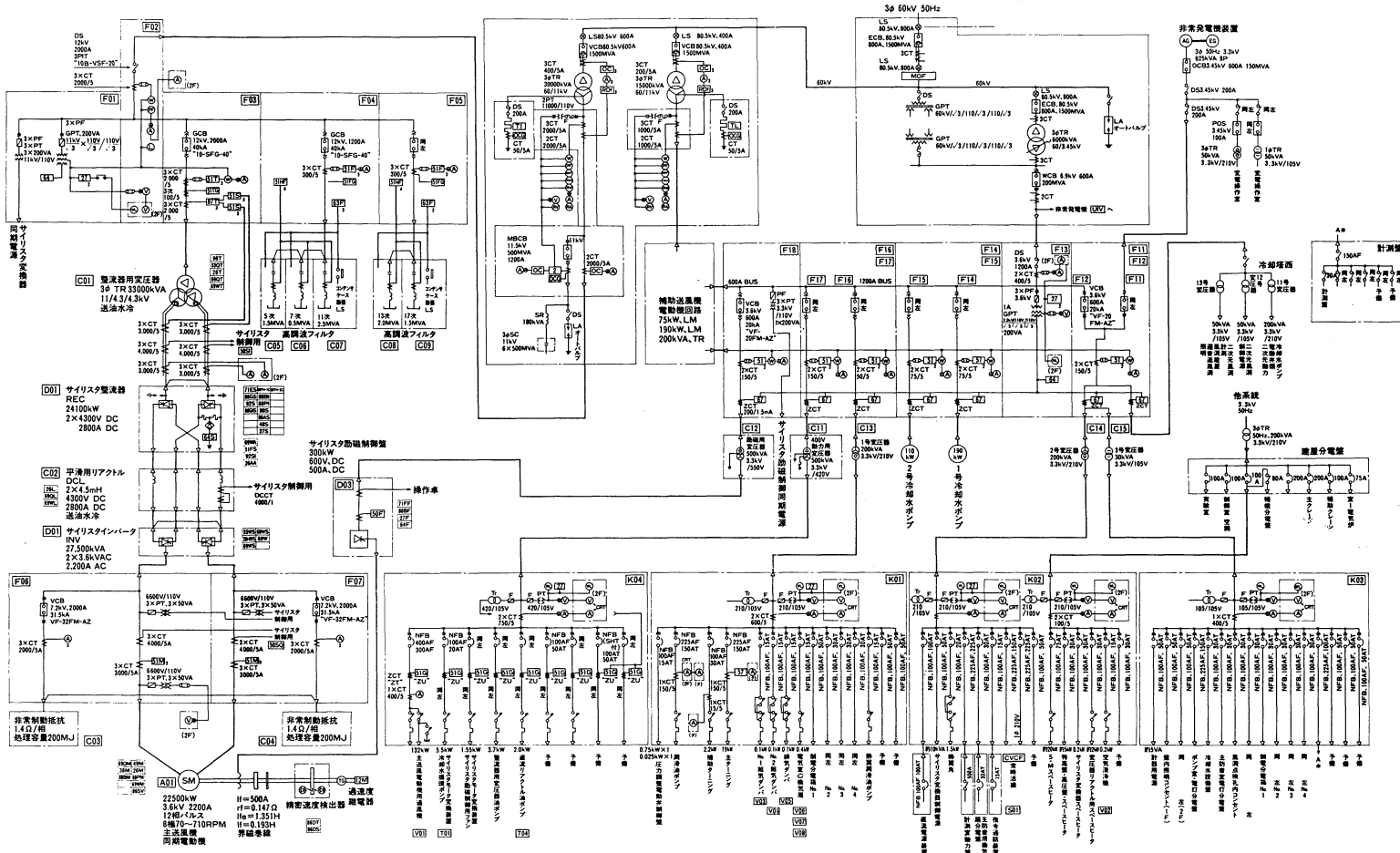


図 3-3 選音速風洞送風機駆動設備単線結線図

4. 主要機器

更新設備の主要機器概要について述べる。

4.1 主送風機駆動電動機及び付属機器

22,500kW サイリスタモータ及び回転数検出装置について述べる。

1) 22,500kW サイリスタモータ

図4-1(b)は、更新した22,500kWサイリスタモータの外観の写真で、既存の18,000kW誘導電動機(図4-1(a))の基礎上に据付けられている。

a) サイリスタモータ要目

22,500kW サイリスタモータの要目は次のとおりである。

i) 形式

回転界磁突極形回転子同期電動機

ii) 出力及び極数

22,500kW, 8極

iii) 回転数範囲

70~710r.p.m.

iv) 電圧及び周波数

3,600V, 47.3Hz

v) 大きさ

長さ: 10.5m, 幅: 4.1m, 高さ: 3m

vi) 総重量

約114ton

大きさ、重量に関しては、既存の18,000kW誘導電動機の大きさ、重量とほとんど同じで

ある。

b) 主な構成要素の特長

i) 固定子

固定子は固定子鉄心に固定子コイルを1体としてワニス真空含浸する全含浸ダイアエポキシ絶縁とし、絶縁はF種絶縁を採用し、機器の小型軽量化を図った。

また、サイリスタモータ特有の脈動トルクの発生を抑える目的で、2組の3相巻線を同一鉄心内に納め、電気的に30°の位相差を持った方式としている。

ii) 回転子

回転子は、大容量サイリスタモータでは、一般に、回転界磁突極形回転子が用いられる、更新電動機においても、同方式を採用し、突極形回転子として、構造が堅牢であり、熱容量の大きい塊状磁極方式を用いた。

磁極形状は電圧波形が最適となる形状を有し、高調波電流による磁極表面損が増加しないように考慮されている。

iii) 励磁方式

サイリスタモータの励磁方式は、遷音速風洞の駆動用として、高速応答性が要求されるので、スリップリング励磁方式を採用した。図4-2は、サイリスタモータの据付工事中的の写真であり、図4-3に、サイリスタモータの組立断面図を示す。

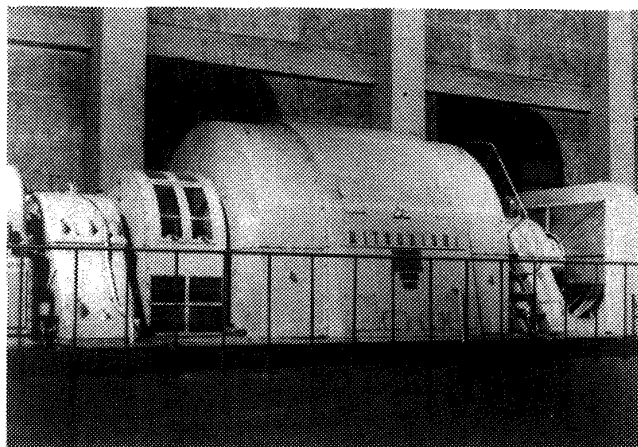


図4-1(a) 旧主電動機18,000kW 誘導電動機

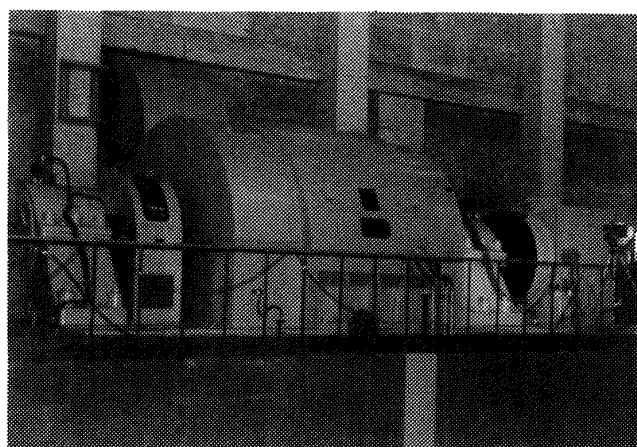


図4-1(b) 新主電動機22,500kW サイリスタモータ

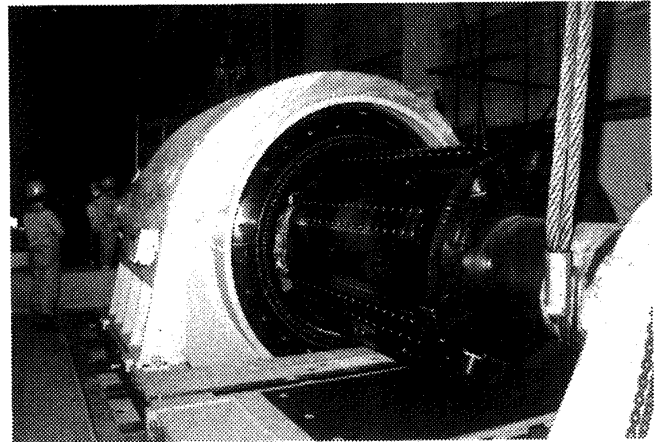
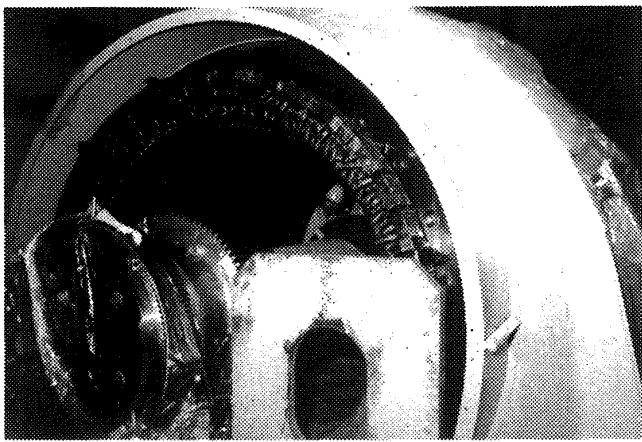
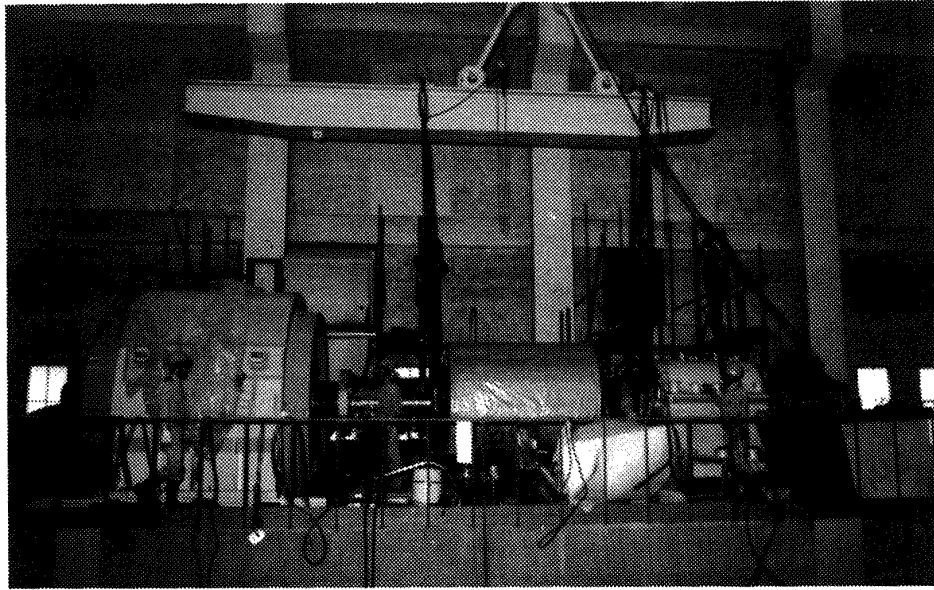
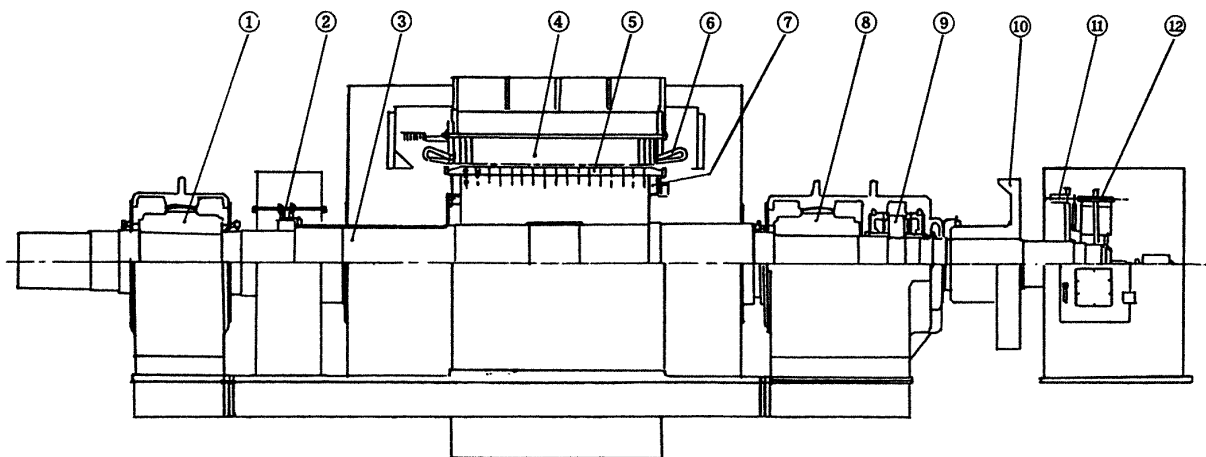


図 4-2 サイリスタモータ据付工事中



番号	名 称	番号	名 称
1	平軸受	7	界磁コイル
2	スリップリング	8	平軸受
3	軸	9	スラスト軸受
4	固定子鉄心	10	ブレーキホイール
5	界磁鉄心	11	レーザ光線受信器
6	固定子コイル	12	レーザ光線発信器

図 4-3 サイリスタモータ組立断面図

2) 付属機器

a) 通風機

主送風機駆動用電動機は、低速域でも十分な冷却を行う必要があるため他力通風方式を採用しており、冷却用空気は、外気よりエアフィルタを通し通風機にて取り入れられ、電動機を冷却後大気へ放出される。

既設ではエアフィルタは回転式油膜方式で、通風機は18,000kW 誘導電動機用と4,500kW 直流電動機用の2台であったが、更新設備ではエアフィルタはメンテナンスフリーのカートリッジ方式であり、通風機は22,500kW サイリスタモータ用1台である。

b) 回転数検出装置

サイリスタモータ軸の反負荷側に、図4-4のように、機械ブレーキ、サイリスタモータの分配器および、レーザ光線の発信器、受信器と1,200個のスリット付円板で構成された高精度の回転数検出装置を備えている。

既設の回転数検出部は、初代は光電管式パルス発生器3台で1組のものが2セット、昭和48年に改修後はホトランジスタ方式によるパルス発生器3台で1組のものが2セット備えていたが、いずれの方式においても、パルス発生器が1台故障すると正規のパルス数の2/3に減少し、精密に速度を制御するのは不可能であった。ゆえに、更新された回転数検出部には、レーザ光線(He-Ne)の発信器と受光器各1台で1組として、3組備えており仮りに2組迄故障しても、サイリスタモータの運転には、支障がないように考慮されている。

図4-5にサイリスタモータの試運転時のデータの一例として、回転数と電流の特性を示す。図中の P_0 は遷音速風洞の集合胴内圧である。図中の電流リミッタは、サイリスタモータの設計電流リミッタである。電流リミット以下は遷音速風洞のサイリスタモータ運転使用可能範囲である。

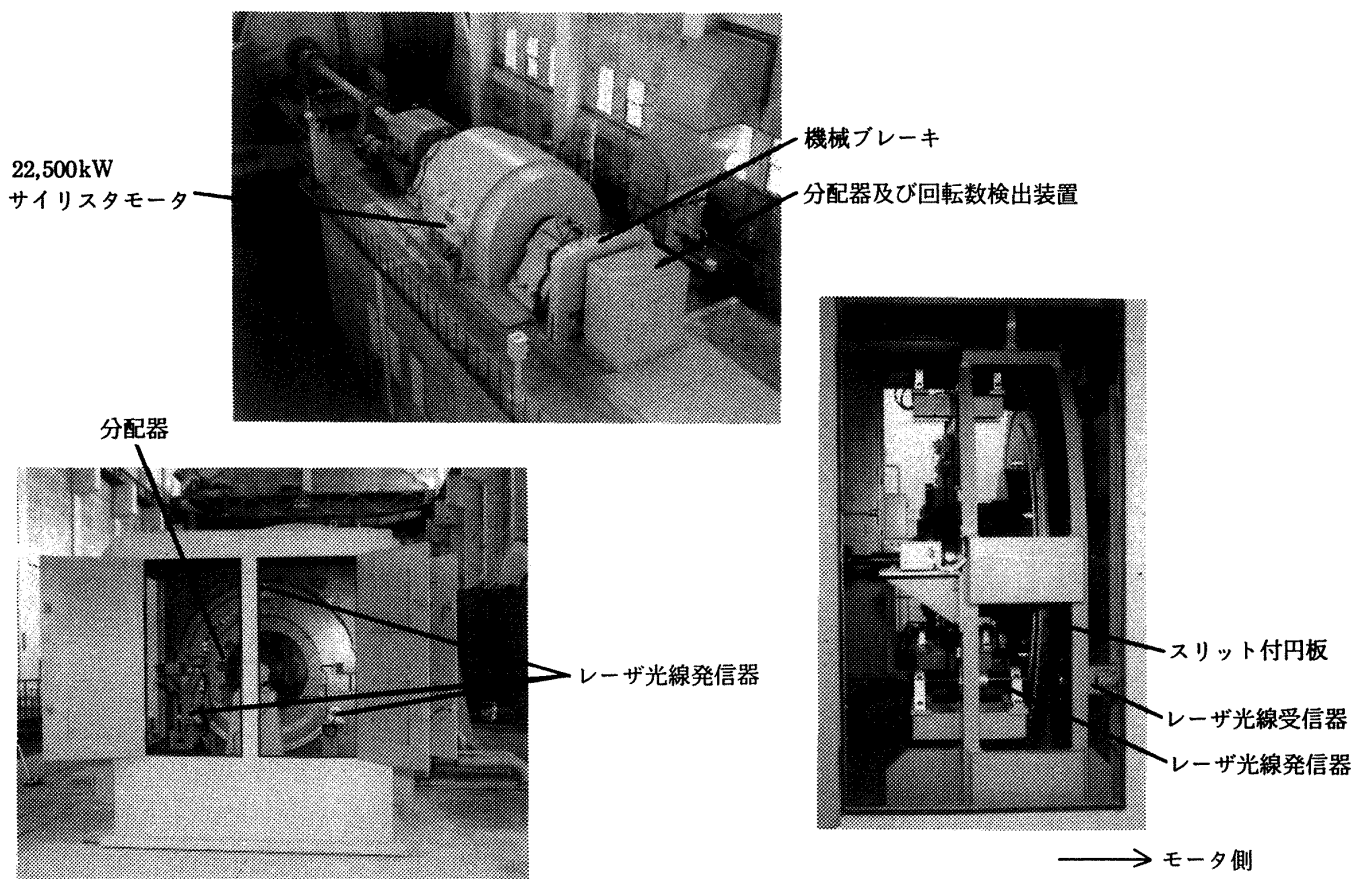


図4-4 回転数検出装置

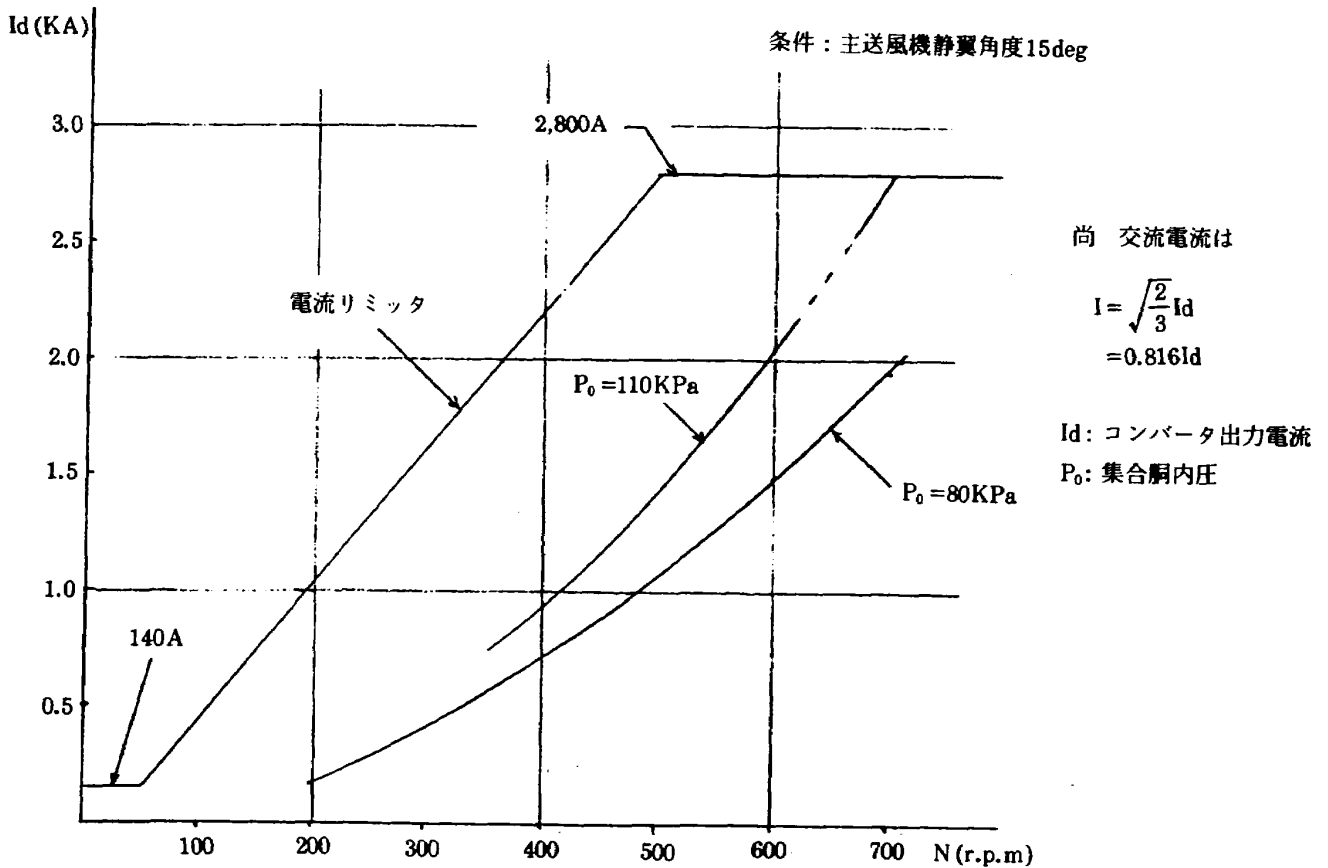


図4-5 回転数～電流特性(一例)

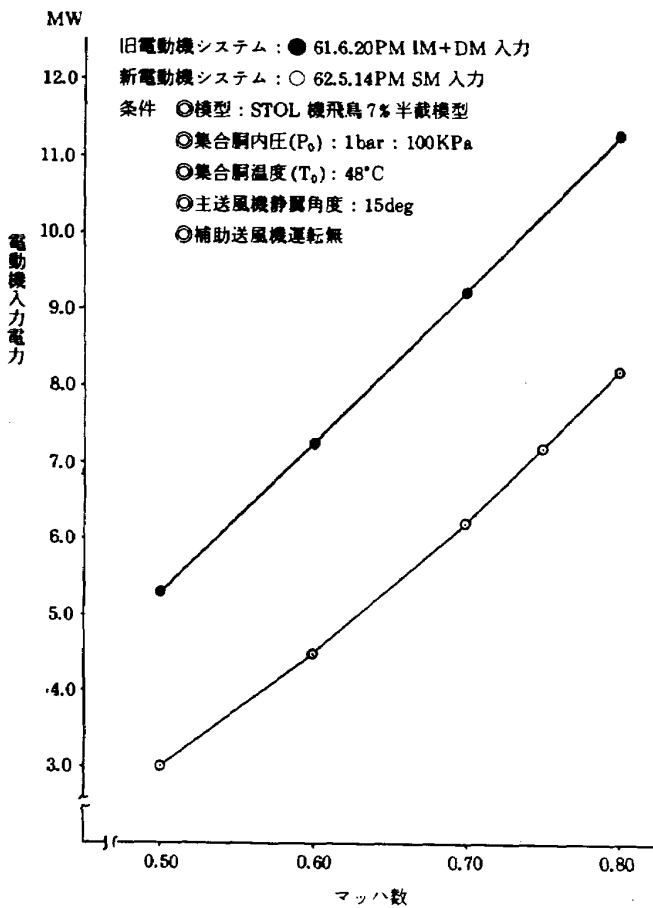


図4-6 新-旧電動機入力電力の比較(一例)

図4-6に、集合胴内圧P₀=1barにおける新、旧電動機入力電力の比較の一例を示す。図は、STOL機の飛鳥の高速試験で全機7%、半載模型での新電動機システムと旧電動機システムの入力電力の比較であるが、新電動機システムの方が、各々のマッハ数において、約2,300kW低い電動機入力電力である。更新後、他のP₀値における試験は実施していない。今後は様々な模型とP₀値におけるデータを収集して、電力等の傾向を整理して、後日報告する予定である。

4.2 主送風機駆動用電源設備

主送風機駆動用電源設備のうち、サイリスタ変換装置、サイリスタ制御装置および高調波フィルタ群について述べる。

1) サイリスタ変換装置

図4-7はサイリスタ変換装置概略単線図である。本装置はサイリスタモータのトルク脈動を低くおさえる目的のために、直列多相(12相)の方式を採用している。

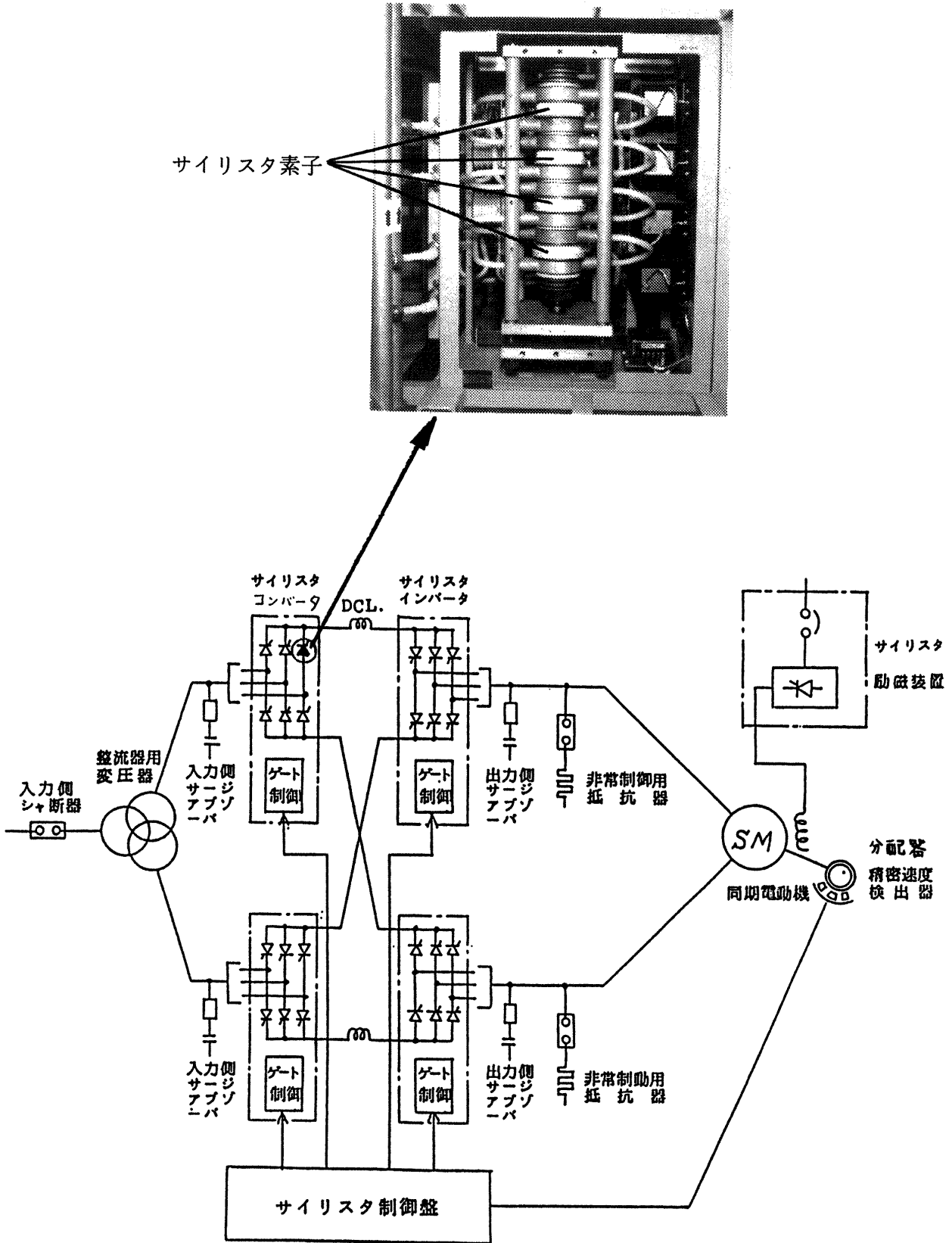
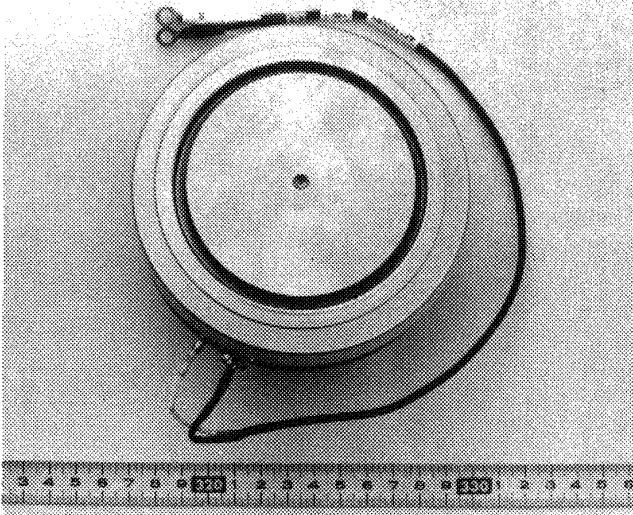


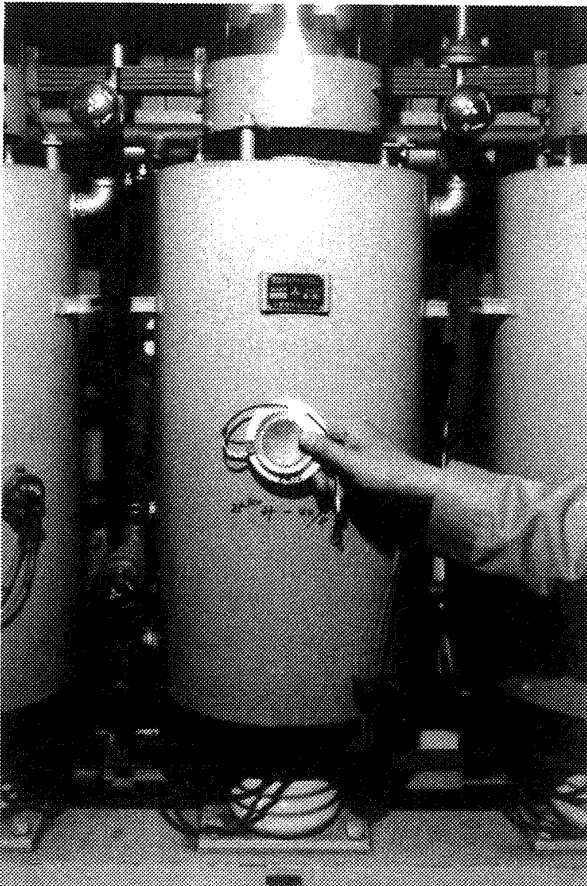
図 4-7 サイリスタ変換装置概略単線結線図

サイリスタ素子は、高圧大電力素子用の4,000V（ピーク繰返し逆電圧）、1500A（平均オン電流）を使用し、図4-7の上部の写真のように1相当り4ケ（白く見えるものがサイリスタ素子）直列に接続され、サイリスタ24ケよりなるコンバータ、と同じくサイリスタ24ケよりなるインバータを、

サイリスタ素子 FT1800V-80



新 サイリスタ素子



旧 水銀整流器

図 4-8

それぞれ2組設置し、交互にカスケード接続した構成である。したがって使用サイリスタ個数の合計は、96ケである。

図4-8において、上部は更新したサイリスタ素子の写真、下部は、現在製造中止の既存の水銀整流器とサイリスタ素子の大きさを比較した写真である。

従来、サイリスタ変換装置の冷却方式は、主に空冷式が採用されてきたが、装置の大容量化に伴いこれらの冷却方式では装置が大型化し、据付面積が大であるので、装置のコンパクト化と低騒音化を図るために、冷却方式を純水冷却方式（循環水冷2次水冷式）を採用した。なお、純水はイオン交換装置にて純度を保ち、純度を常時監視している。サイリスタ変換装置がコンパクト化出来たので、既設備の水銀整流器の制御装置が設置されていた。一階電気室にサイリスタ変換装置を設置することが出来た（図3-2(a)参照）。図4-9にサイリスタ変換装置の外観図を示す。図中右下が純水循環用ポンプである。

なお、サイリスタ変換装置の機器類の定格を表4-1に表す。直流リアクトル、サイリスタ励磁装置及び非常制動用抵抗器をも合せて表4-1に表わす。

非常制動用抵抗器の働きは、次のとおりである。サイリスタモータ運転中において、緊急に風洞を停止しなければならない状態（重要な機器等の故障も含む）時に、非常停止でモータを停止した場

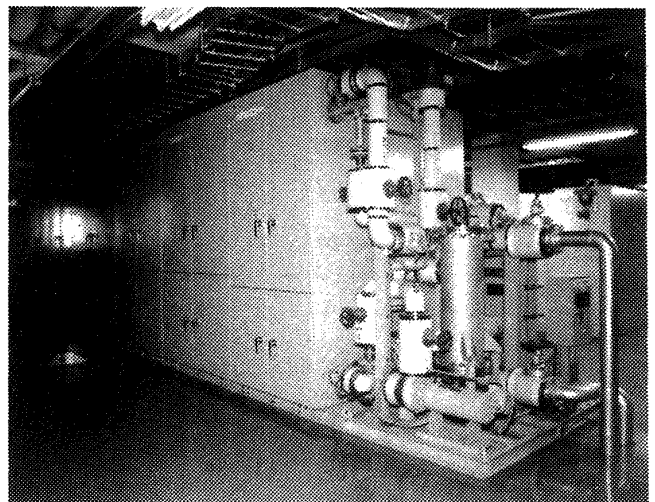


図 4-9 サイリスタ変換装置外観図

表 4-1 サイリスタ変換装置

構成機器の定格

(1) サイリスタコンバータ

交流入力電圧	2×4300V	定 格	連 続
周 波 数	50Hz	冷 却 方 式	循環水冷 2次水冷式
直 流 出 力	24080kW	周 囲 温 度	0~40°C
直流出力電圧	2×4300V	冷 却 水 温 度	最高50°C
直流出力電流	2800A	冷 却 水 流 量	180ℓ/min/面

(2) サイリスタインバータ

直流入力電圧	2×4300V	定 格	連 続
交 流 出 力	27500kVA	冷 却 方 式	循環水冷 2次水冷式
交流出力電圧	2×3600V	周 囲 温 度	0~40°C
交流出力電流	2×2200A	冷 却 水 温 度	最高50°C
交流出力周波数	5~50Hz	冷 却 水 流 量	180ℓ/min/面

(3) サージアブソーバ

交流定格電圧	2×4300V	周 囲 温 度	0~40°C
交流定格周波数	50Hz	冷 却 水 温 度	最高32.5°C
定 格	連 続	冷 却 水 流 量	100ℓ/min/面
冷 却 方 式	循環風冷 2次水冷式		

(4) 純水冷却装置

交 換 熱 量	278400kcal/hr	外水入口温度	最高32.5°C
純水入口温度	55.8°C	外水出口温度	35.4°C
純水出口温度	50.0°C	外 水 流 量	1600ℓ/min
純 水 流 量	800ℓ/min		

(5) 直流リアクトル

リアクタンス	2×4.5mH	形 式	空心形 屋内用
回 路 電 圧	4300VA	冷 却 方 式	送油水冷式
定 格 電 流	2800A	周 囲 温 度	-10~40°C
定 格	100% 30分間	冷 却 水 温 度	最高32.5°C
	84.4%連続	冷 却 水 流 量	150ℓ/min

(6) サイリスタ励磁装置

交流入力電圧	550V	定 格	100%連続
周 波 数	50Hz	冷 却 方 式	風冷式
直 流 出 力	300kW	周 囲 温 度	0~40°C
直流出力電圧	600V		
直流出力電流	500A		

(7) 非常制動用抵抗器

定 格 容 量	200MJ	形 式	屋外形
回 路 電 圧	3600V	冷 却 方 式	自冷式
抵 抗 値	1.25Ω-5Ω	周 囲 温 度	-10~40°C
抵抗値切換	オフライン切換		
温度上昇値	350°C		

合に、図4-7の入力遮断器を開放して、機械エネルギーを電気エネルギーに変換し、非常制動用抵抗器にて消費させる。既設備では、入力遮断器を開放後、18,000kW 誘導電動機に発電制動をかけて、電動機を停止させた。ただし、既設備も更新設備も上記のような非常停止でモータを停止させる時、70r.p.m.以下になると機械ブレーキにおいて、機械制動を行っている。

2) サイリスタ制御盤（精密速度制御装置）

サイリスタ制御盤は、サイリスタモータ制御回路が主回路（図4-10に、サイリスタモータ制御

構成図を示す）であり、完全なD.D.C方式(Direct, Digital, Control)を採用し、高性能、高機能を実現するために、16ビットマイクロプロセッサを用いたソフトウェアとハードウェアから構成されている。

制御機能は、あらかじめプログラム化され、メモリーに書き込まれており、マイクロプロセッサは、このプログラムに従って、PI演算などの制御演算を実行して、高速かつ高精度な制御を可能にしている。

制御ハードウェアは、マイクロプロセッサやメ

表 4-2 高調波フィルタ群の構成と定格

1) フィルタ総合容量 8.0 MVA			
5次フィルタ 1,500 KVA			
7次フィルタ 500 KVA			
11次フィルタ 2,500 KVA			
13次フィルタ 2,000 KVA			
17次フィルタ 1,500 KVA			
2) フィルタの基本定格			
① 回路電圧 11,000 V			
② 形式 3相屋内形			
③ 周波数 50 Hz			
④ 定格の種類 連続			
⑤ 規格 JIS-C4902			
3) 5次フィルタ			
① コンデンサ 基本波進相容量 3×521.6 KVA (3×37.83 μF)			
基本波電流 78.7 A rms			
②リアクトル 基本波容量 3×21.6 KVA (3×11.07 mH)			
基本波電流 78.7 A rms			
③ 高調波流入電流 5次調波 25.5 A rms			
4) 7次フィルタ			
① コンデンサ 基本波進相容量 3×170.1 KVA (3×12.89 μF)			
基本波電流 26.2 A rms			
②リアクトル 基本波容量 3×3.47 KVA (3×16.04 mH)			
基本波電流 26.2 A rms			
③ 高調波流入電流 7次調波 18.8 A rms			
5) 11次フィルタ			
① コンデンサ 基本波進相容量 3×840.3 KVA (3×65.22 μF)			
基本波電流 131.2 A rms			
②リアクトル 基本波容量 3×6.94 KVA (3×1.284 mH)			
基本波電流 131.2 A rms			
③ 高調波流入電流 11次調波 154.5 A rms			
6) 13次フィルタ			
① コンデンサ 基本波進相容量 3×670.7 KVA (3×52.3 μF)			
基本波電流 105.0 A rms			
②リアクトル 基本波容量 3×4.03 KVA (3×1.164 mH)			
基本波電流 105.0 A rms			
③ 高調波流入電流 13次調波 103.4 A rms			
7) 17次フィルタ			
① コンデンサ 基本波進相容量 3×501.8 KVA (3×39.32 μF)			
基本波電流 78.7 A rms			
②リアクトル 基本波容量 3×1.78 KVA (3×0.913 mH)			
基本波電流 78.7 A rms			
③ 高調波流入電流 17次調波 8.1 A rms			

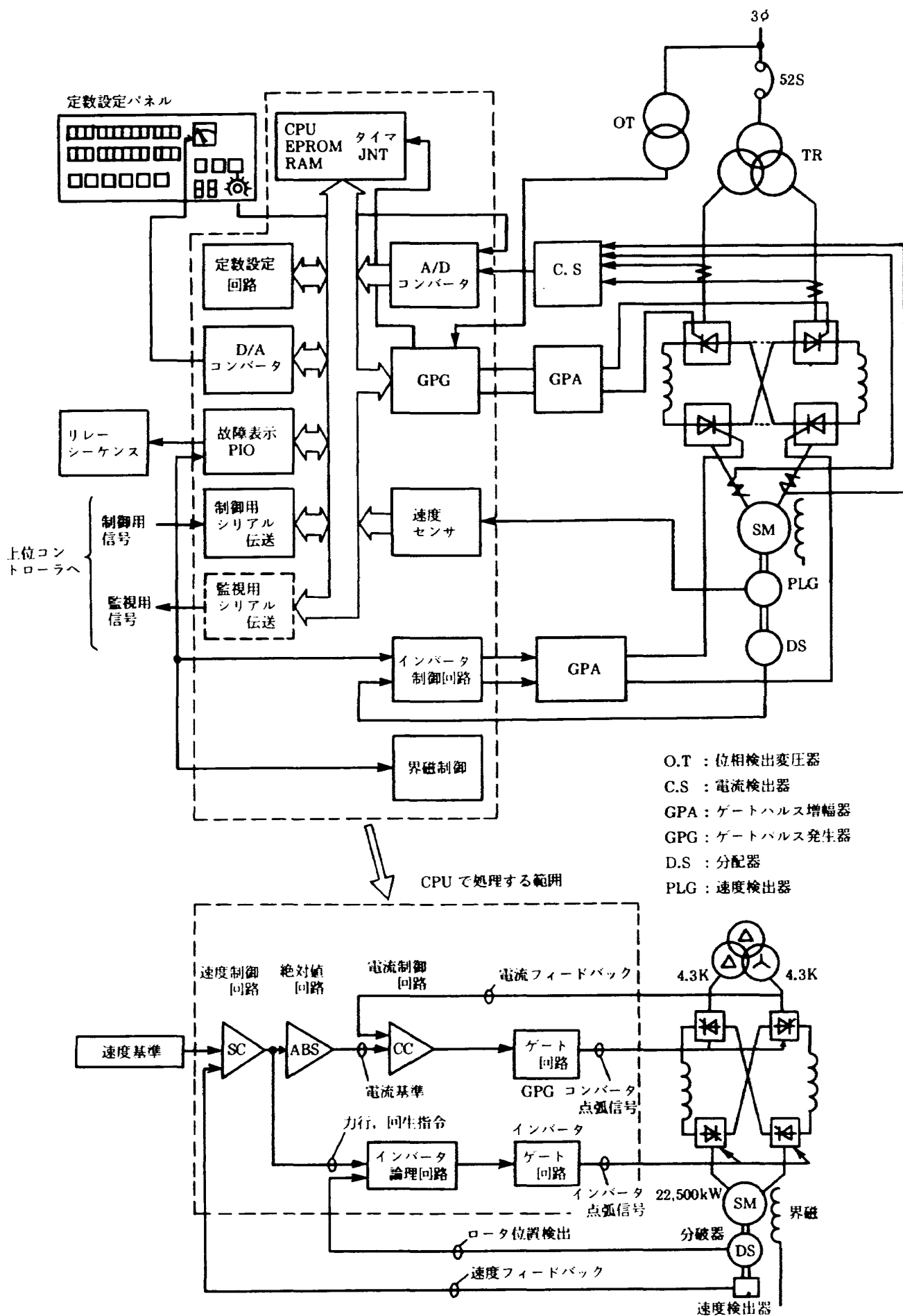


図4-10 サイリスタモータ制御構成図

モリーのほか、電圧、電流、速度を検出する検出部、デジタルゲートパルス発生回路および外部との情報交換のための入出力機能で構成されている。

又、トレース機能も有しており、交流電源の約10サイクルの期間、各種制御データを記憶している。故障時に波形等を再生することにより、故障診断を容易にしている。

3) 高調波フィルター群

サイリスタ変換装置は高調波を発生するので受

電端に高調波フィルター群(コンデンサーとリアクトルで構成)を設けて、他の機器の運転に支障のないようにし、又、60kV受電点において、東京電力高調波規制値以内に抑えるようにした。

実際に風洞試験を行って、上記の規制値以内に入っていることを確認した。表4-2に高調波フィルター群の構成と定格を示す。又表4-3に東京電力高調波規制基準の抜粋を示す。

実際の風洞試験時に測定した結果、測定値の最大においても、全高調波電流で評価すると、3.8A

表 4-3 東京電力高調波規制基準

① 許容高調波電圧

系統種別	各次高調波電圧含有率	備考
154kV以上の系統	0.5%以下	電圧総合ひずみで約1.0%以下
66kV以下の系統	1.0%以下	電圧総合ひずみで約3.0%以下

注 電圧総合ひずみは $\sqrt{\frac{\sum V_n^2}{1 + \sum V_n^2}}$

ただし V_n は第n次調波電圧

② 許容高調波電流

高調波次数(n)	5	7	11	13	17	19	23	25
許容値(A)	10.6	5.0	2.6	2.2	1.8	1.7	1.8	1.9

注 ○等価妨害電流 = $\sum_{n=1}^{\infty} (S_{fn} \cdot I_n)^2 \leq 3.8A$

○上表の制限値は $S_{fn} \cdot I_n \leq 1.9A$ より算出される。

妨害電流計(2乗和・平方根) $\leq 3.8A$ で計測される。

ただし I_n は第n次調波電流。

S_{fn} は $50 \times n$ (Hz) に対応する雑音評価係数で次表で表わされる。

雑音評価係数は800Hzを1.00とした人間の聴覚・受話器の感度特性に合わせて標準音声周波数に換算した値

雑音評価係数

高調波次数(n)	5	7	11	13	17	19	23	25
周波数(Hz)	250	350	550	650	850	950	1150	1250
雑音評価係数 $S_{fn}=1000$	178	376	733	851	1035	1109	1035	977

の規制値に対して、2.44Aと小さく、かつ、60kVの電圧歪も総合2.0%の規制値に対して、0.79%と小さいので問題はなかった。

4.3 受配電設備

受配電設備のうち高圧用遮断器類について述べる。

1) 高圧用遮断器類

高圧用遮断器類は、安全性が高く、メンテナンスの省力化が進んでいる真空遮断器を大部分採用し（一部にガス遮断器を採用）、スペース的にも小型化された遮断器を採用した。既設の3.3kV用の遮断器1台分のスペースに更新した高圧用遮断器は、上段、下段に各1台ずつ、計2台の遮断器がおさまった（図3-3参照。図中VCBは真空遮断器、GCBはガス遮断器である）。

4.4 主送風機駆動用運転、制御システム

主送風機駆動用運転、制御システムの主要構成機器を述べ、主送風機制御卓上のCRTの画面について最後にふれる（図3-1参照）。

1) 中央監視制御装置

中央監視制御装置は、制御関係と対話形のオペレータ操作関係とに別れている。前者は主送風機の運転、シーケンス制御用の計算機システムと遷音速風洞監視制御用の計算機システムで構成されている。後者は主送風機制御卓上に備えてある

CRTの画面上でオペレータと対話方式により、遷音速風洞の運転管理を行う。

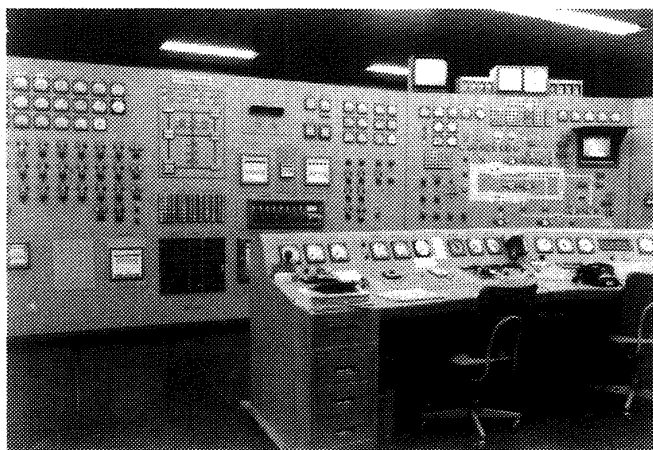
主送風機の運転操作はCRTの画面で全ての操作指令を出すことが出来るので、風洞の運転前の起動準備（サイリスタモータの補機類及び主送風機系の補機類の起動、風洞弁類の所定開度迄の開閉動作等）から、運転停止後の休止状態（起動準備で起動した補機類等の停止、風洞弁類の開閉動作等の逆動作）まで、全自動運転が可能である。

他に、遷音速風洞の日報、月報、試験スケジュール等に関するシステムと機器類の動作表示、故障及び警報表示用のラインプリンタ等も組込まれている。

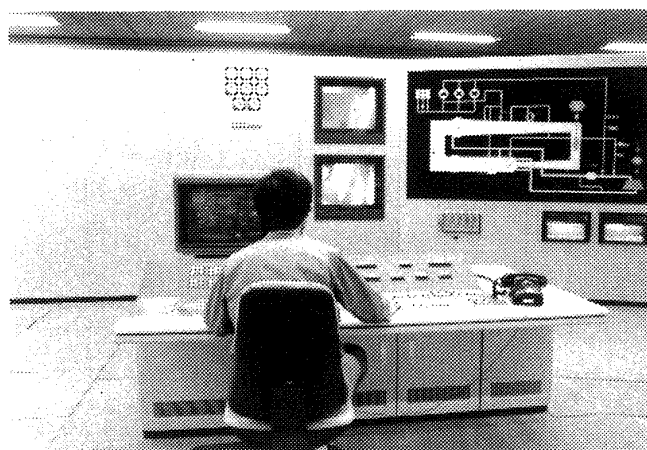
2) 監視盤

監視盤は、遷音速風洞監視盤と主送風機監視盤から構成されている。前者は風洞設備の状態をグラフィックで示し（例えば、サイリスタモータの回転数、測定洞のマッハ数および風洞弁等の開度の表示）、後者は主送風機及び付属機器の状態を監視し、主送風機等及び測定部内部の模型の状態をカラーモニター2台でモニターしている。

図4-11は、新、旧の風洞監視盤及び主送風機監視盤の写真である。写真で判るように、旧の風洞監視盤及び主送風機監視盤は、広角指示計、補機類の操作用把手及び機器の動作用表示ランプ群及び打点記録計より構成されているが、新設盤においては最小限の表示機器で構成され、オペレー



旧 主送風機及び風洞監視盤
手前：主送風機制御卓



新 主送風機及び風洞監視盤
手前：主送風機制御卓

タは、必要とする機器の指示値や状態等を主送風機制御卓上の CRT の画面で確認出来るシステムになっている。

3) 主送風機制御卓

図4-11の各写真において、それぞれ手前側にあるのが主送風機制御卓である。新設備は、主送風機の運転、制御及び風洞の監視も含めた CRT と風洞の運転に必要な状態量を示す表示器を備え、オペレータが、この卓上にて、主送風機等の運転制御を行う。

旧設備の回転数設定は、70r.p.m.から710r.p.m.の間、20r.p.m.ごとの段階設定であった。この方式であると、マッハ数を制御するための主送風機の回転数を上昇、下降して制御するには、時間のロス、気流外乱等の悪影響が大きく、気流静定には不利であった。新設備においては、70r.p.m.～710r.p.m.まで、連続設定が出来、設定精度も良い。

制御卓の CRT の画面に関しては、5) に述べる。

4) インターフェースシステム

インターフェースシステムは、上記の1)～3)に必要な信号等の入出力のインターフェース関係のシステムである。

風洞実験に必要なデータ、マッハ数、集合胴内圧、集合胴温度、模型姿勢等の測定値を取り込みリモート入出力ユニット盤、計測用変換盤および補助継電器盤で構成されている。

5) 主送風機制御卓上の CRT 画面

更新した制御卓の CRT の画面は、運転制御に関する情報を画面上に組合せて表示することが出来る。主送風機のシーケンスフローは、もとより各機器の単独入切の操作、風洞の制御状態の表示、及び時間的変化の状態を示す、トレンドグラフ類等も合せて持っている。

(a) CRT の機能の概略

i) グラフィック画面機能

グラフィック画面を表示し、設備等の運転状況を監視しながら運転操作、制御設定操作が行える機能、及び画面の多重表示も可能

ii) 警報監視機能

設備等に異常が生じた場合の警報機能

iii) 制御操作機能

設備等の計測値、PID 制御グループに関する情報等を提供する機能

iv) ヒストリカルデータ表示機能

予め選択しておいた測定項目の過去値のトレンドグラフを表示する機能

v) その他の機能

日時設定、カレンダー機能、誤操作処理機能、バックアップデータセーブ機能等以上のような機能を備えている。

(b) CRT 画面の一例

i) 遷音速風洞の制御状態 (図4-12に示す)

この図は風洞の運転中の各部所の状態を示す。例えば、主送風機関係では、サイリスタモータの電力、主送風機の回転数、圧力比、静翼角角度。測定胴等の関係では、測定部のマッハ数、ノズルマッハ数、プリナム室静圧、集合胴の圧力および温度。補助送風機関係 (抽気用送風機) では、送風機の駆動用電動機の電力、送風機の入口圧、出口圧および圧力比、抽気弁の V_{A1} 開度、送風機のバイパス弁の V_{A2} 開度。内圧制御関係では、圧縮機及び排風機の起動停止状態、風洞各弁類の開閉表示である。

これらの状態を一つの画面で一度に知るためのものである。

なお、風洞各弁を各々単独で開閉するときは CRT 上に「風洞弁」の画面を呼び出し、CRT 上の画面に表示されている番号の弁を CRT 用のキーボードで単独に開閉可能である。この方式は主送風機の補機類 (潤滑油ポンプ等) を個別に起動停止する場合も同様である。風洞上のマンホール等の状態を監視する場合は CRT 上「マンホール」の画面を呼び出して監視することが出来る。

ii) 自動制御データ表示 (図4-13に示す)。

この図は自動制御の各パラメータの値を

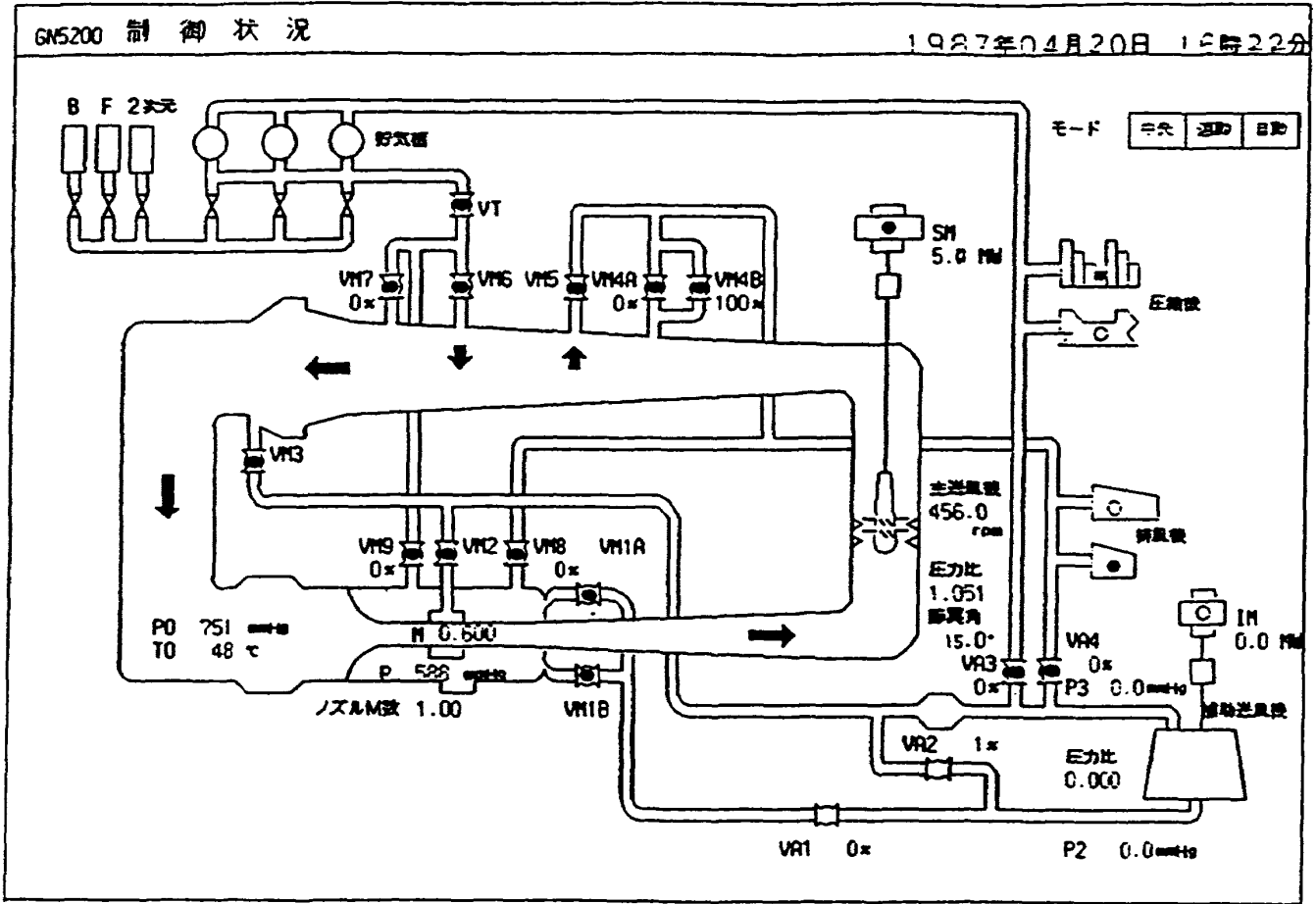


図 4-12

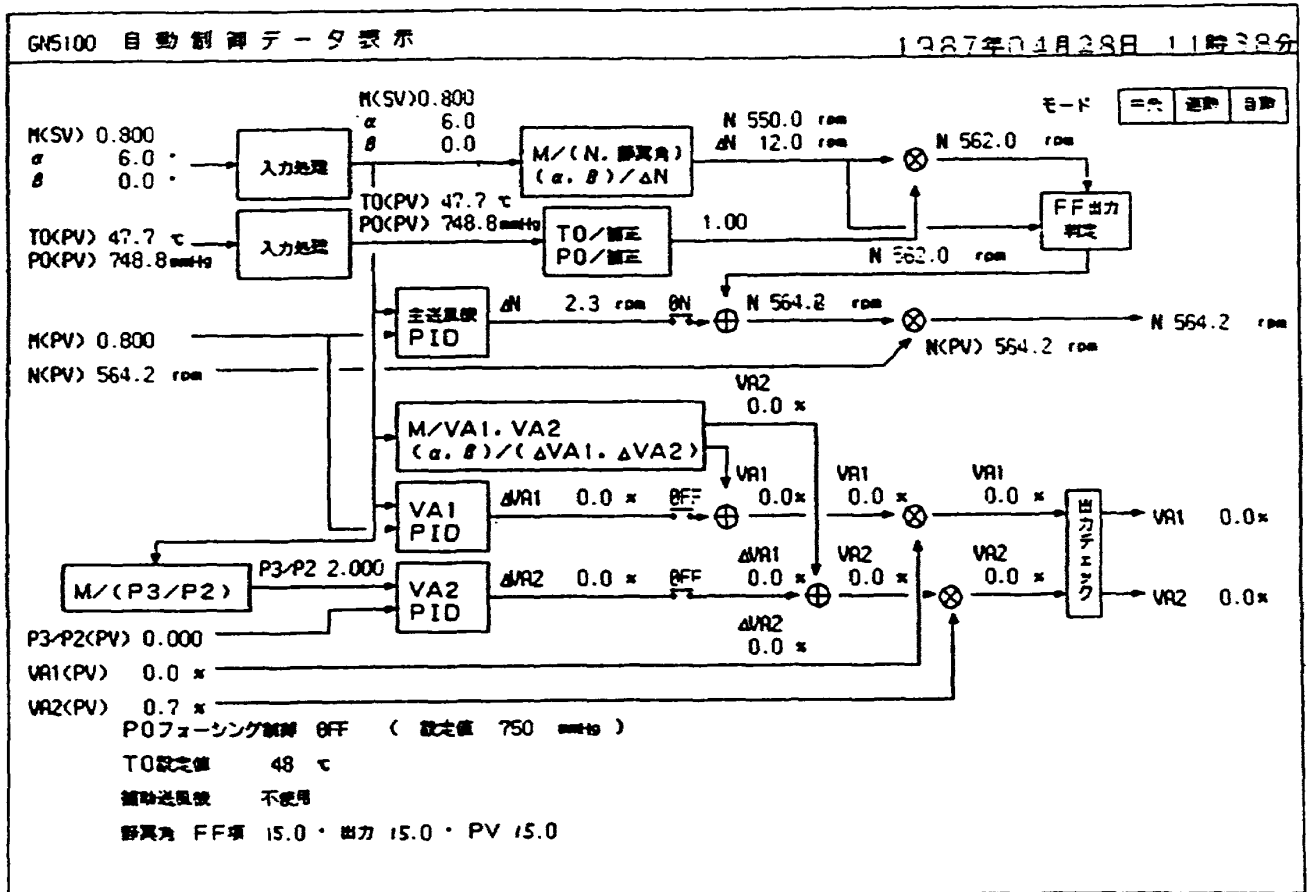


図 4-13

示すもので、実験開始前に、1RUN分の試験内容（例えば、マッハ数、模型の角度等、集合胴の圧力、温度）が順番に登録され、それに基づいて各試験に合った、主送風機の回転数、補助送風機の抽気弁の開度等の値が、計算機に事前に記憶させた各々の値から選択され、自動制御の初期値に用いられる。自動運転中は、マッハ数制御値の誤差の補正はPID（制御動作）によって行われるが、なるべく早く所定のマッハ数にするために各機器の目標値として、初期値が使われる。

この図は、マッハ数0.800で模型の迎角が6degのときの制御の一例である。図中(SV)は設定値を示し、(PV)は測定値を示す。

なお、更新した設備において、マッハ数

の制御方式はマッハ数が約0.4~0.9の間においては、主送風機の回転制御で行い、マッハ数約0.9~1.2の間では、補助送風機の抽気弁を一定開度にしておいて、主送風機の回転数制御で行う。しかし、マッハ数が1.2以上1.4の間では、主送風機の回転数を一定にしておき、補助送風機の抽気弁の開度でマッハ数を制御するものである（風洞の可変ノズルはマッハ数1.0以下では1.0に設定し、マッハ数1.0以上では、所定のノズル値に設定するものである）。今回の制御方式においてはマッハ数1.20まで完全自動制御が成功した。

マッハ数が1.20以上は、補助送風機関係の抽気弁を含む抽気設備の更新を待って、完全自動化にするつもりである。

iii) ヒストリカルデータ（図4-14に示す）。

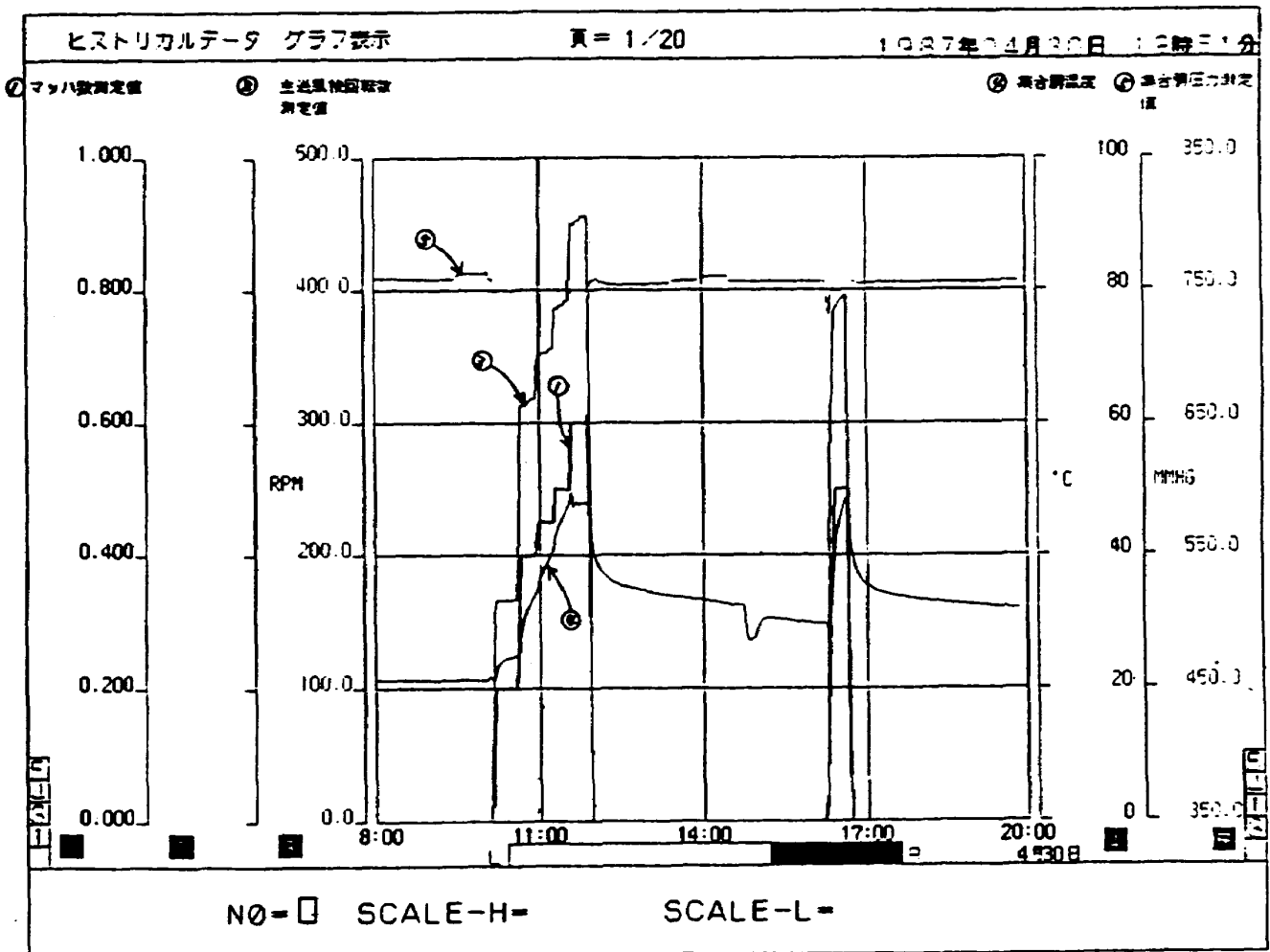


図 4-14

ヒストリカルデータは、今現在の時間より36時間前までの機器の状態を12時間ごとに画面に表示することが出来る画面であり、100種類のデータを5ヶづつ組にして、表示することが可能である。図4-14は遷音速風洞の主要データであるマッハ数測定値、主送風機回転数測定値、集合胴温度及び集合胴圧力測定値を示した一例である。

以上がCRTの画面の一例を示したものであるが、他に画面を4分割まで分割し、その分割した各々の場所に、画面を表示出来る多重画面表示も出来る機能を有し、画面総数は400画面以上にもなる。

又CRT上において、サイリスタモータの通常運転時の回転数の上昇、下降の速度を0.8r.p.m./sec~1.6r.p.m./secの値に任意に選択することが出来るCRTの画面も備えている。

5. ま と め

遷音速風洞駆動設備の更新において、更新の基本方針に基づいて、各機器を選択し、その結果次のような良好な結果が得られた。

- 1) サイリスタモータ単機駆動方式にして、設備全体を単純化した。
- 2) 消費電力の軽減に関しては、図4-6のように、各マッハ数において約2,300kW ($P_0 = 1$ bar のとき)軽減化が実現出来た。

起動及び停止に要する時間の短縮に関しては、サイリスタモータの0r.p.m.から710r.p.m.まで最大加速し、約7分30秒で上昇が可能。速度制御に関しては、回転数の設定も連続設定が可能になり、設定回転数に対する回転数変動は、±0.03%以下という非常に高い速度制御精度の性能を満している。

- 3) サイリスタ変換装置の直列多相方式を採用して、モータのトルク脈動を低くおさえたので、主送風機の軸系等の振動も問題は生じない。
- 4) サイリスタ変換装置から発生する高調波も高調波フィルター群により良好な結果を得て

いる。

- 5) 運転制御システムによって、運転関係も全自動化が実現出来、オペレータの操作の複雑さも解消した。

遷音速風洞主送風機用駆動設備の更新計画と構成に関する報告は以上である。同設備の更新工事は昭和62年5月31日に完了し、現在既に各種風洞試験が行われている。

運転、制御システム関係の詳細なデータは、現在整理中であり、後日報告する予定である。

今後、各種模型等による風洞試験を実施し、駆動設備に関するデータを収集し、蓄積して、より精度の高い自動制御のデータベースを作成することが、風洞運転の効率向上につながるものと考えられる。又、今回遷音速風洞特別改修の一環として、駆動設備の更新を行ったが、遷音速風洞の設備としてのレベル向上は、特別改修が全部終了することによって実現されるものであり、遷音速風洞にたずさわる者として一日も早く実現する様努力する所存である。

終りに、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御協力を頂いた。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、半沢麻雄技官、馬場滋夫技官、末永尚史技官、山田建技官には甚大な御指導と御協力を頂き、さらに、三菱電機株式会社、新野修平課長をはじめ更新工事関係の方々には、概念設計から工事完了にいたるまで御尽力を頂きました。ここに皆様に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 航空技術研究所；航究技術研究所 2m×2m 遷音速風洞の計画と構造，航技研報告 TR-25 (1962)。
- 2) 電気書院編集部編；設備診断テクニクフィールドエンジニアリングライブラリー，電気書院。
- 3) 萱場重男，鈴木正光，小松行夫；遷音速風洞設備更新に関する予備調査(Ⅰ)，航技研資料

- 版局.
TM-395 (1979).
- 4) 柴田孝則, 他 ; パワーエレクトロニクスによる交流電動機の可変速駆動, 東京電機大学出版局.
 - 5) 阪上三郎 ; 電動力応用, 電気書院.
 - 6) 宮入庄太 ; 最新電気機器学, 丸善株式会社.
 - 7) その他, JIS, JEC, JEM 等の規格.

既 刊 資 料

TM-570	スターセンサ用 CCD エリアセンサの評価試験	1987年 4 月	桜井 善雄, 木村 武雄
TM-571	矢羽根を用いた冗長型気流方向測定装置の最適化と設計のための数値解析について	1987年 4 月	木村 武雄, 滝沢 実 内田 忠夫
TM-572	宇宙ステーションの利用について(その2)	1987年 4 月	宇宙ステーション ワーキンググループ
TM-573	ヘッド・ダウン・ディスプレイのシミュレータ評価実験	1987年 5 月	田中 敬司, 川原 弘靖
TM-574	低騒音STOL実験機・飛行制御システム用アクチュエータとその開発技術試験	1987年 5 月	STOLプロジェクト推進 本部実験機開発室操縦シ ステム技術開発チーム
TM-575	飛行シミュレーション試験設備, モーション模擬装置の構成および機能, 性能	1987年 6 月	川原 弘靖, 岡部 正典 渡辺 顯, 坂東 俊夫 若色 薫
TM-576	低騒音STOL実験機の全機地上振動試験(振動データ管理システム)	1987年10月	STOLプロジェクト推進 本部振動試験装置開発チ ーム
TM-577	飛行シミュレーション試験設備, 模擬操縦席装置の構成および機能, 性能	1987年11月	川原 弘靖, 岡部 正典 渡辺 顯, 坂東 俊夫 若色 薫
TM-578	構造物の時系列分析とシステム同定のためのAPLによる関数ライブラリー	1987年11月	小松 敬治
TM-579	STOL実験機用 PAPI の設置と性能試験結果	1988年 1 月	村上 義隆, 照井 祐之 花松 武志, 齊藤 健二 横山晋太郎, 稲垣 敏治

航空宇宙技術研究所資料 580号

昭和 63 年 2 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 丁目 44 番地 1
電話三鷹 (0422) 47-5911 (大代表) 〒182
印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川 2 - 27 - 12
