

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-656

航技研 2 m × 2 m 遷音速風洞用送風系設備の 更新について

鈴木正光・唐沢敏夫・小松行夫
末永尚史・戸田亘洋

1993年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目次

1. まえがき	2
2. 記号	3
3. 新送風系設備の概要	3
3.1 主送風機設備	3
3.2 補助送風機設備	3
4. 風洞試験と送風系設備	5
4.1 主送風機設備	5
4.2 補助送風機設備	12
5. 送風系設備の更新による省エネルギー効果	14
5.1 主送風機設備の更新による省エネルギー効果	14
5.2 補助送風機設備の更新による省エネルギー効果	15
5.3 風路変更による省エネルギー効果	15
5.4 風路変更と設備更新による省エネルギー効果	15
5.5 風洞運転パターンの一例	16
6. むすび	16
7. 参考文献	17

航技研 2 m × 2 m 遷音速風洞用送風系設備の更新について*

鈴木正光^{*1}・唐沢敏夫^{*1}・小松行夫^{*1}

末永尚史^{*1}・戸田亘洋^{*1}

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

Masamitu SUZUKI^{*1} Toshio KARASAWA^{*1} Yukio KOMATU^{*1}
Hisashi SUENAGA^{*1} Nobuhiro TODA^{*1}

ABSTRACT

As part of the comprehensive refurbishment of the NAL 2mX2m Transonic Wind Tunnel, the main blower drive system and the auxiliary blower system were replaced. In carrying out the replacement, efforts were made to render the system automated and to increase its energy efficiency as much as possible.

As a result:

- (1) Power savings are, at a tunnel stagnation pressure of 100 kPa, 3,000 kW and 5,000 kW for the main and auxiliary driving systems respectively;
- (2) The time required for starting and finishing have been substantially reduced, thus contributing to the enhancement of the tunnel operational efficiency, and that
- (3) The manpower needed for tunnel operation has been greatly reduced by an extensive automating of the Mach number control procedure. A feature of this procedure is incorporation of a feed-forward process derived from the analysis of the manual control data hitherto collected.

This report describes how these improvements were achieved.

key words: transonic wind tunnel, tunnel drive system, Mach number control, tunnel power saving, wind tunnel refurbishment

概 要

航技研 2 m × 2 m 遷音速風洞は、遷音速領域（マッハ数0.4～1.4）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である。本風洞は測定部に精密な遷音速の一樣気流を生成するため主送風機及び補助送風機からなる送風系設備を備えている。本風洞は昭和35年より稼働してきたが、近年本風洞設備全体の老朽化が進んだため、遷音速風洞特別改修の計画が進められ、その一環として、昭和60年より平成4年まで、送風系設備の更新工事を行った。

本資料は、送風系設備の更新工事の内容、成果等について報告する。とりわけ本設備を風洞内圧100kPaで運転するには、最大約27,000kWと膨大な電力を消費するが、本改修工事を実施したことによって送風系設備に必要な電力は更新前に比べ約30%の節電効果を挙げることができた。又、遷音速風洞特有の補助送風機系（抽気）風路の改良、運転の自動化等を図ったことによりデータ生産性が向上した点についてもふれる。

*平成4年12月25日受付 (received 25 December 1992)

*1 空力性能部 (Aircraft Aerodynamics Division)

1. まえがき

航技研 2 m×2 m遷音速風洞¹⁾は、連続式遷音速実用風洞としてわが国唯一最大の設備であり、昭和35年に運用を開始して以来、現在に至るまで当研究所は本より、関係各機関の共用に供する設備として輸送機やロケットの研究開発に対し膨大なデータを提供してきた。図 1.1 に航技研 2 m×2 m遷音速風洞配置図を示す。

風洞測定部に生成される遷音速一様流は、送風系設備に依って駆動されている。

測定部一様流のマッハ数の設定は、設定マッハ数に応じ主送風機設備だけの運転で、或は主送風機設備と補助送風機設備の同時運転に依って行う。

本風洞の送風系設備は同図に①で示す主送風機設備及び②で示す補助送風機設備より構成されている。

主送風機設備は、主送風機本体と、本体を駆動するための駆動用電動機設備（駆動用電動機・電源及び変電設備と運転制御システムより成る）から構成され、又補助送風機設備は、補助送風機系・駆動用電動機系及び運転制御シ

テムから構成されている。

旧送風系設備の運転・操作は、手動或は熟練した係員の勤に依るところが多かったのに対し新設備では、電算機による運転制御システムを導入したため、風洞運用開始以来これまで長期間にわたって蓄積されてきたマッハ数の設定に必要なデータ、ノウハウ等はソフトの形で容易に運転制御システムに組込むことが可能となり、又その変更も極めて容易に出来る様になった。この効果は極めて大きく電力で約8,000kWの節電又データ生産性で20~40%増の改善に成功した。

新旧送風機設備の概要とそれによって得られた成果について述べる。なお、送風系設備の更新工事は、次の期間に実施された。主送風機設備の駆動用電動機設備の更新及び補助送風機設備の更新は、それぞれ昭和60年7月~昭和62年5月、平成2年6月~平成4年9月に実施された。

又、補助送風機設備に関するマッハ数自動制御の制御係数等は、現在風洞実験を行いながらデータを収集し、制御の具体的内容を調整中である。設備の詳細及び制御に関する項目については、後日報告する予定である。

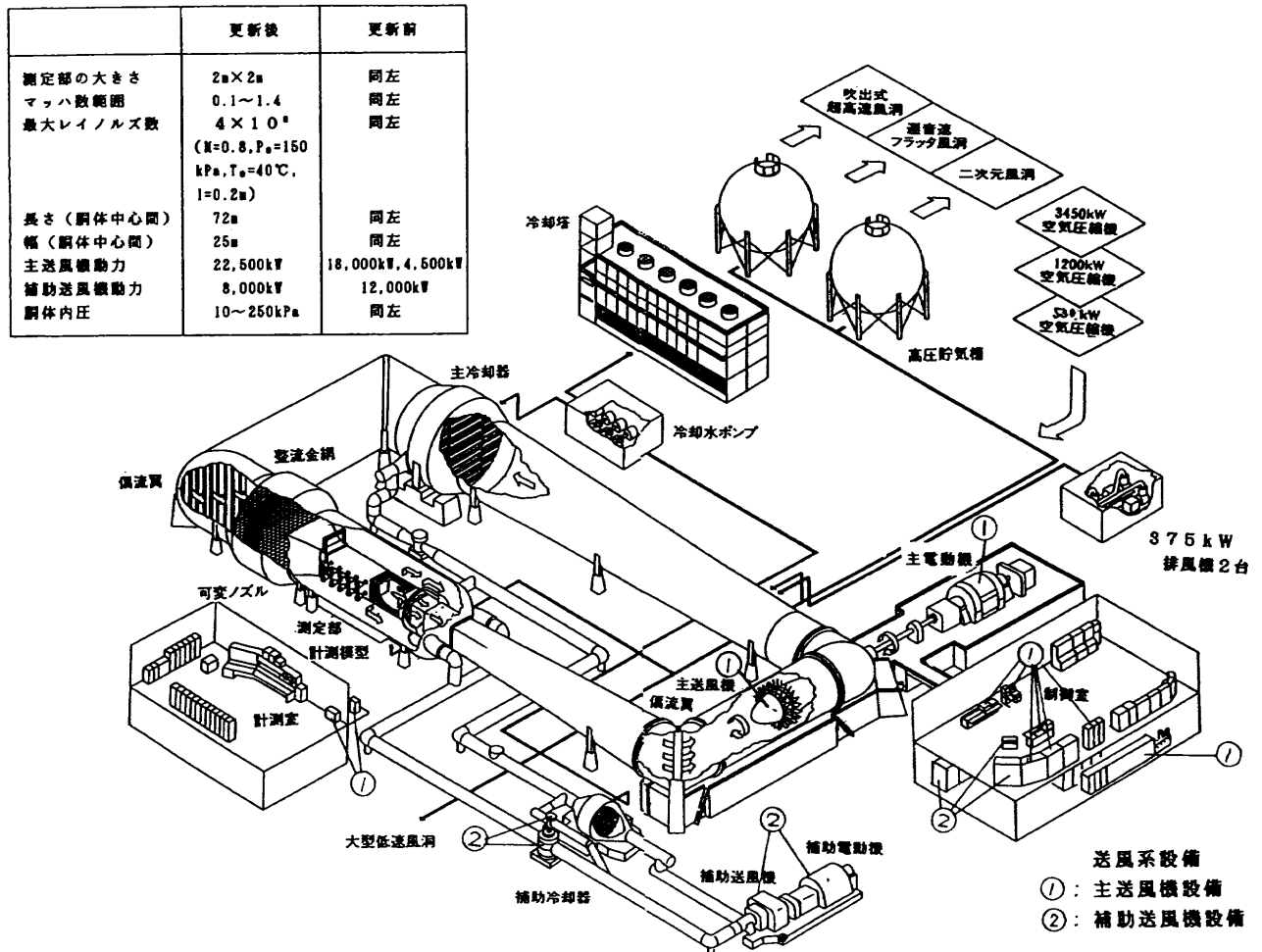


図 1.1 更新後の遷音速風洞配置図

2. 記号

主に図中の記号について示す。

M	測定部一様流マッハ数	
N	主送風機毎分回転数	r. p. m.
P ₀	集合胴総圧力	kPa
P _w	主送風機入力電力	MW, kW
T ₀	集合胴温度	℃
α	模型迎角	deg
θ	補助送風機静翼角度	deg
ΔM/ΔN	主送風機単位毎分回転数当りのマッハ数変化	
ΔP _w /ΔM	マッハ数0.01上昇させるのに必要な主送風機 の入力電力kW	

3. 新送風系設備の概要

送風系設備の主送風機設備と補助送風機設備は、相互に信号のやりとりを行なって、風洞運転を円滑に行なっている。

主送風機及び補助送風機設備から構成される送風系設備は測定部一様流マッハ数を制御する機能を持っており、設定マッハ数の精度の確保と節電を図るため、各設備はマッハ数の変化に応じ以下のような方法で運転する必要がある。即ち、

- (1) マッハ数0.1～0.85（低マッハ数領域、新設備ではAモード制御と称する）
主送風機だけを単独で運転し、マッハ数の制御は送風機の回転速度を操作することに依って行なう。
- (2) マッハ数0.85～1.2（中マッハ数領域、新設備ではBモード制御と称する）
主送風機と補助送風機とを同時運転し、測定部の

気流の一部の補助送風機によって抽気する（図4.11参照）。抽気量はマッハ数に応じ一定に保持し、マッハ数の制御は主送風機の回転速度を操作して行なう。

- (3) マッハ数1.2～1.4（高マッハ数領域、新設備ではCモード制御と称する）

(2) とは逆にマッハ数に応じ主送風機の回転速度を一定に保持し、マッハ数の制御は、補助送風機による抽気量を操作して行なう。

又、マッハ数は1.0を超える範囲では、設定マッハ数に応じ測定部上流に装備されている可変ノズルの形状を変える必要がある。

本節では更新された送風系設備の概要について述べることにする。

3.1 主送風機設備

主送風機設備は、主送風機本体¹⁾及び主送風機駆動設備²⁾から構成されるが、機器及びシステムの詳細は文献1, 2を参照することとし、本節では、設備の構成の概要を示す。

3.1.1 主送風機本体

主送風機の主要諸元は次のとおりである。

- (1) 形式 前置静翼式静翼可変ピッチ型
2段軸流送風機
- (2) 流量 930m³/s
- (3) 圧力比 1.22
- (4) 最高入口温度 60℃
- (5) 最高毎分回転数 710r.p.m.
- (6) 軸動力 21,000kW

図3.1に主送風機組立断面図¹⁾を示す。

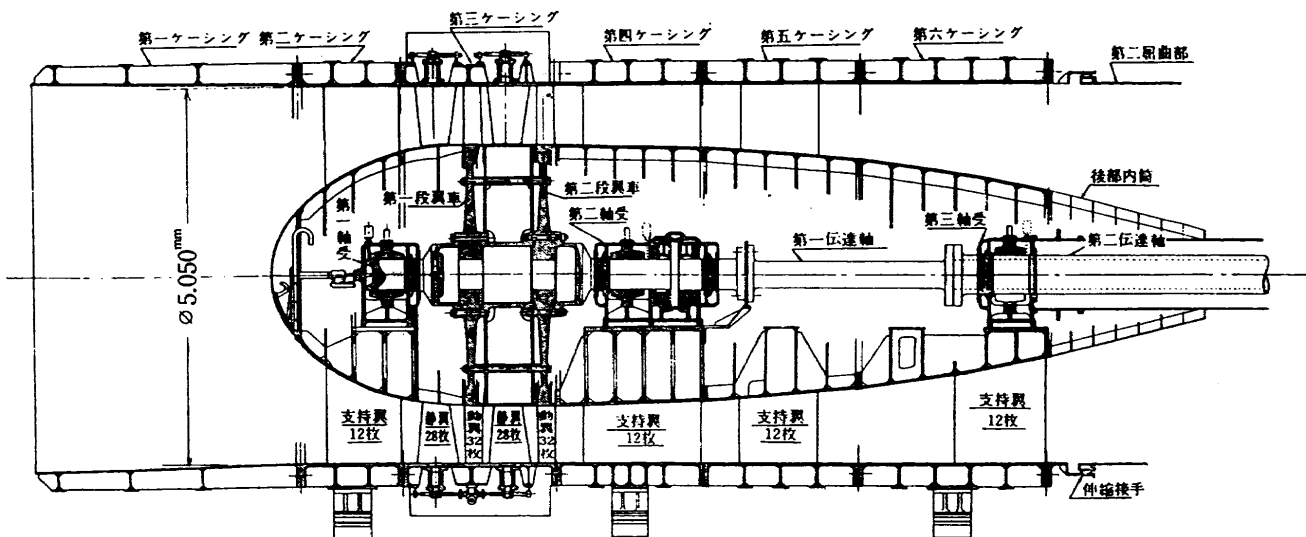


図 3.1 主送風機組立断面図

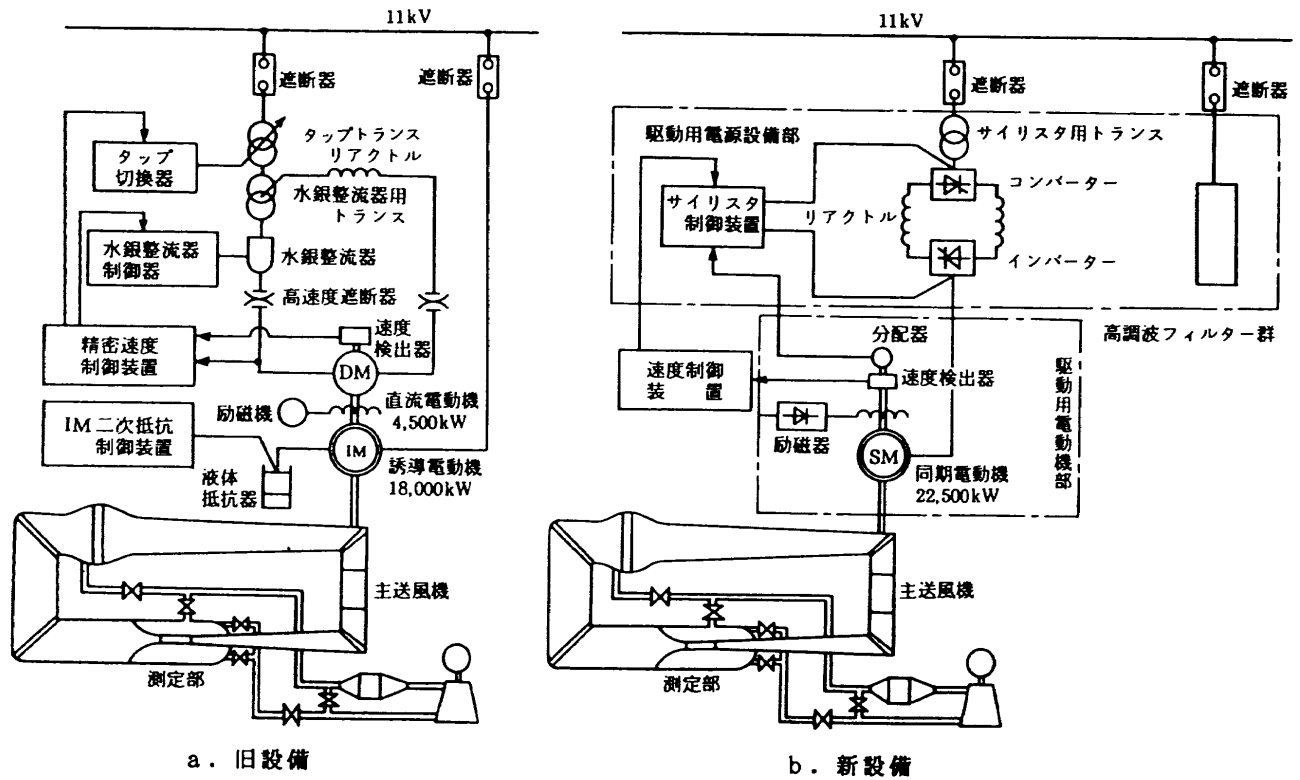


図 3.2 主送風機用駆動設備構成図

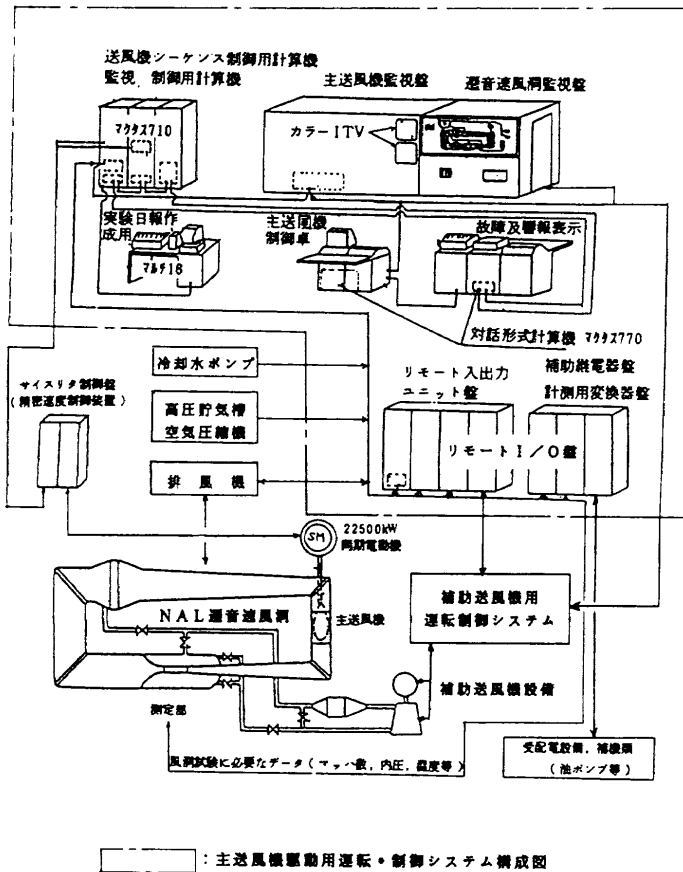


図 3.3 更新後の主送風機用駆動用運転・制御システム構成図

3.1.2 主送風機用駆動設備

図 3.2 に主送風機用駆動設備構成図を示す。旧設備は、4,500kW 直流電動機と 18,000kW 誘導電動機の複合駆動方式であり、付属機器類も多数必要であった。

新設備は図 3.2 の b に示すように、22,500kW サイリスタモータ 1 台で付属機器類も旧設備より少数である。

更新後の主送風機設備の構成は、次の 4 つに分類できる。

- (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)
- (4) 主送風機駆動用運転・制御システムである。

主送風機の運転・制御・計測及び風洞監視・データ収集を行なう上記の (4) の構成図を図 3.3 に示す。このシステムは、マッハ数の全自動運転を行なうために補助送風機設備の運転制御システムとお互いに必要な信号の取合いを行なっている。

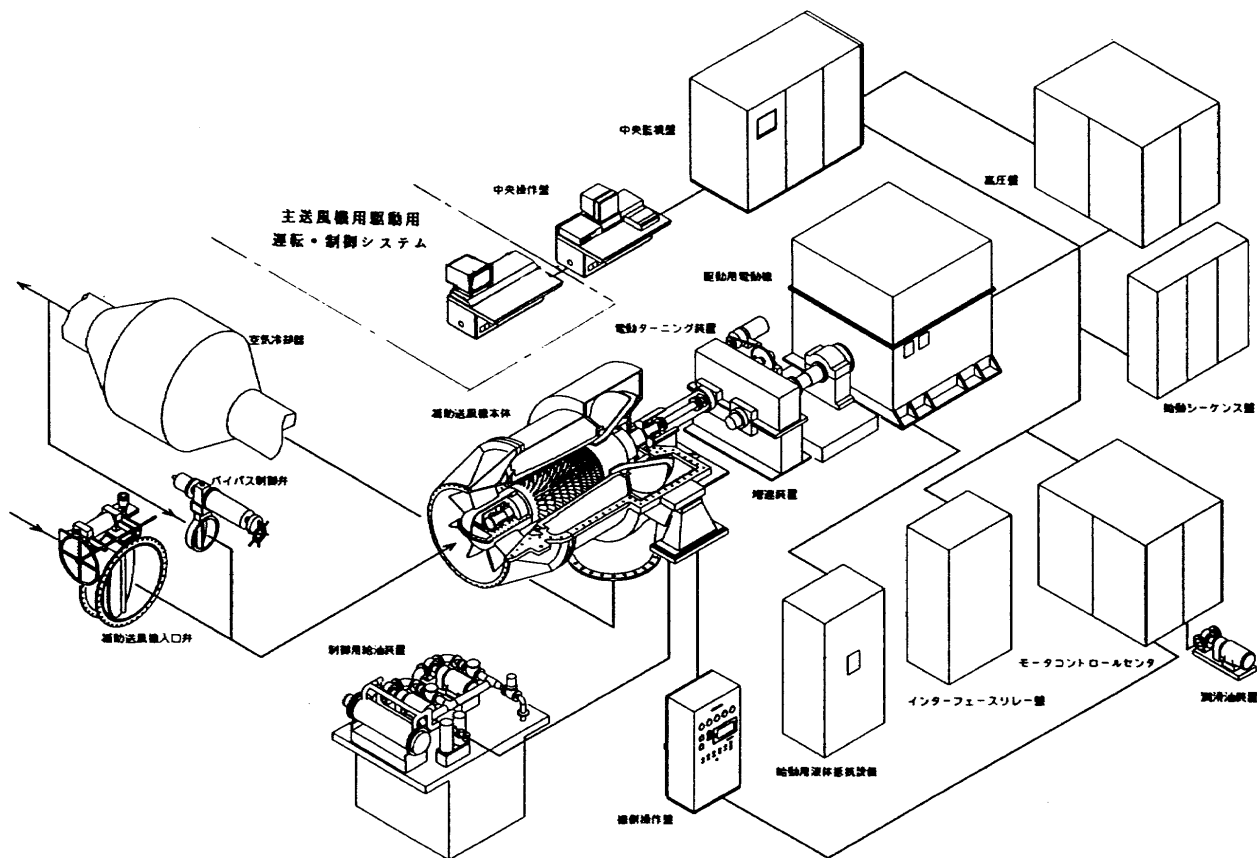


図 3.4 更新後の補助送風機設備構成図

3.2 補助送風機設備³⁾

更新後の補助送風機設備の構成は、次の3つに分類出来る。

- (1) 補助送風機系
- (2) 駆動用電動機系
- (3) 運転制御システム

である。図 3.4 に更新後の補助送風機設備の構成図を示す。

補助送風機系は、静翼可変による容量調整機構を有する送風機本体・増速装置・送風機付属機器（油ポンプ等）、縮切弁としてのVA1弁（図 4. 11）、送風機の保護装置的役割を主としマッハ数制御の補助的機能を果たすVA2弁（図 4. 11）にて構成されている。

駆動用電動機系は、高速小型化された駆動用電動機（8,000kW）始動用設備・受電設備及び付属機器で構成されている。

運転制御システムは、FA（ファクトリー・オートメーション）技術を導入した中央操作盤・中央監視盤・各機器用センサーによって構成されている。

表 3. 1 に補助送風機の新旧の設備の基本設計点仕様を示す。

表 3.1 補助送風機設計点仕様

		新 設 備		旧 設 備	
送風機	型式	全段静翼可変式 二重ケーシング型 11段軸流送風機		10段軸流送風機 →	
	マッハ数	1.4	1.2	1.2	
	質量	kg/s	32.2	34.84	70
	全圧圧力比		3.3	2.42	2.42
	抽気室内全圧	kPa	29.7	40.5	40.5
	集合室内全圧	kPa	98.1	→	→
	吸込み温度	℃	60	→	→
	所要動力	kW	8,050	5,060	9,975
	最大所要動力	kW	7,260	→	12,000
	集合室内全圧が49~117.7 kPaの範囲で変化する回転数	rpm	4,487	→	3,005
容量調整方式		静翼可変式		なし	
駆動用電動機	型式	スリップリング及びブラシ引上装置付き巻線型回転子全閉空気冷却器付型		短絡巻線型回転子	
	容量	kW	8,000	12,000	
	定格極数		連続	閉鎖強制通風式 2時間	
	回転数	rpm	4 P	6 P	
	電圧	kV	1,485	994	
	絶縁種別		11	11	
	起動方法		F 種 2次抵抗始動	B 種 →	
増速装置	型式	シングルヘリカル型		→	
	最大伝達動力	kW	8,000	12,000	
	回転数 1次側	rpm	1,485	994	
	2次側	rpm	4,487	3,005	

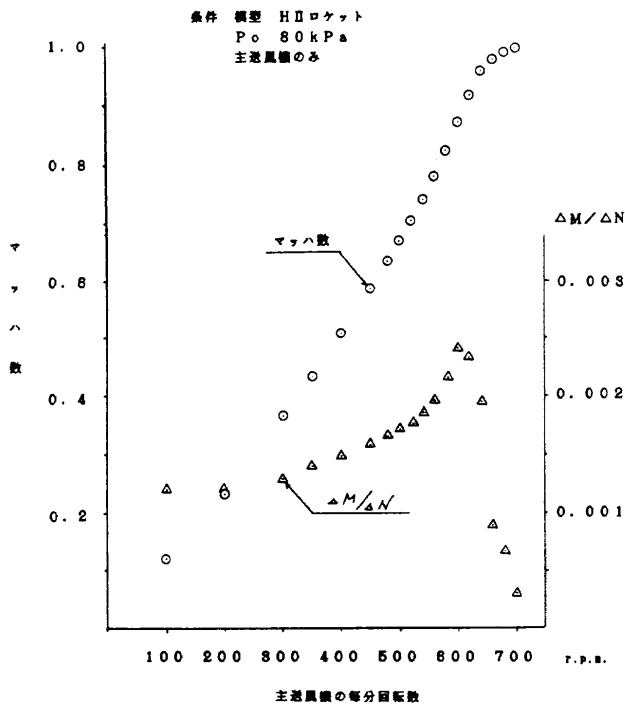


図 4.1 主送風機毎分回転数とマッハ数

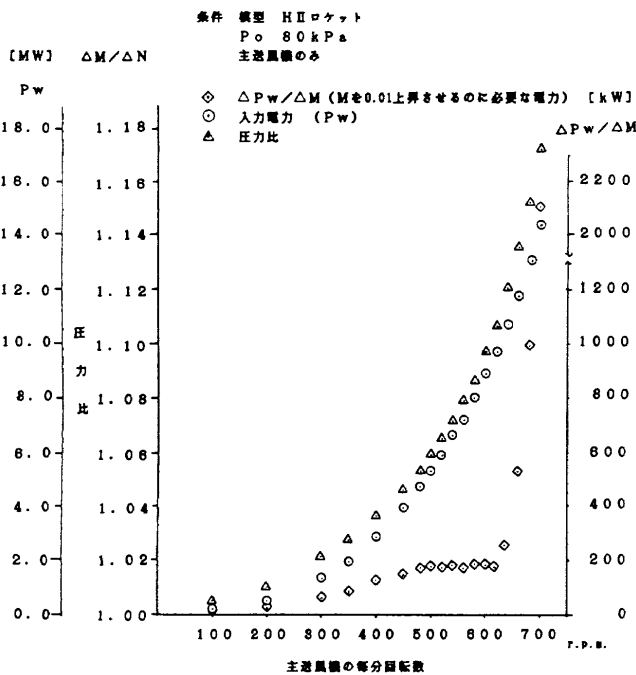


図 4.2 主送風機の毎分回転数、圧力比と入力電力

4. 風洞試験と送風系設備

4.1 主送風機設備

4.1.1 主送風機の毎分回転数とマッハ数

主送風機の毎分回転数とマッハ数の関係を図 4. 1 に示す。図中の $\Delta M/\Delta N$ は、主送風機単位毎分回転数当りのマッハ数変化である。図 4. 2 に主送風機の毎分回転数と主送風機の圧力比及び主送風機への入力電力を示す。図中の $\Delta P_w/\Delta M$ は、マッハ数を 0.01 上昇させるのに必要な電力を

kW で示したものである（送風機毎分回転数とマッハ数の関係は、駆動用電動機の更新前後で変化なく、今後電動機所要電力が検討の対象となるので更新後のデータを示した）。

図 4.3 a に各マッハ数における主送風機の毎分回転数を $\pm 20 \text{r.p.m.}$ 及び $\pm 2 \text{r.p.m.}$ 変化させたときの $\Delta M/\Delta N$ を示す（模型は全機模型で図 4.3 b に模型略図を示す）。

図 4. 1 及び図 4. 2 から、主送風機の毎分回転数が 640r.p.m. 以上の範囲では毎分回転数の上昇に対するマッハ数の増加は少なくなり、逆に所要電力は上昇することが判る。従って、主送風機の回転速度操作によってマッハ数を調節出来る設定マッハ数の上限は 0.9 付近であることが判る。

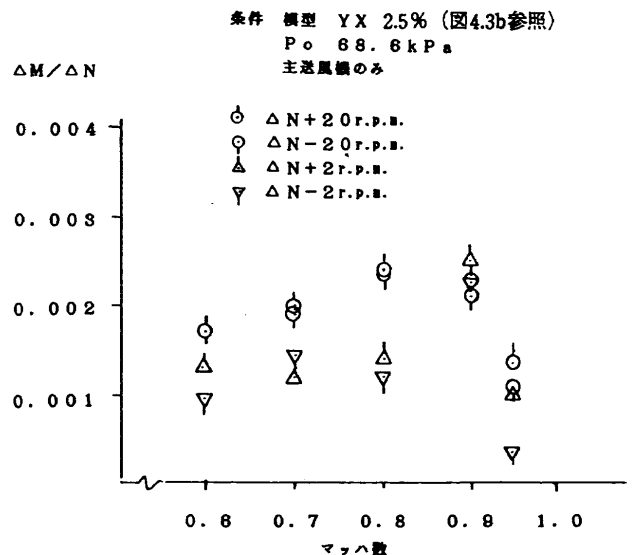


図 4.3 a 主送風機毎分回転数変化とマッハ数

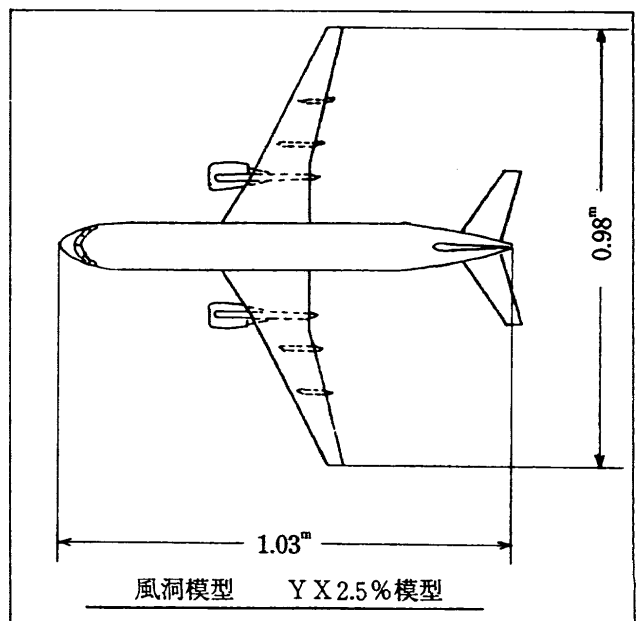


図 4.3 b Y X 2.5% 模型略図

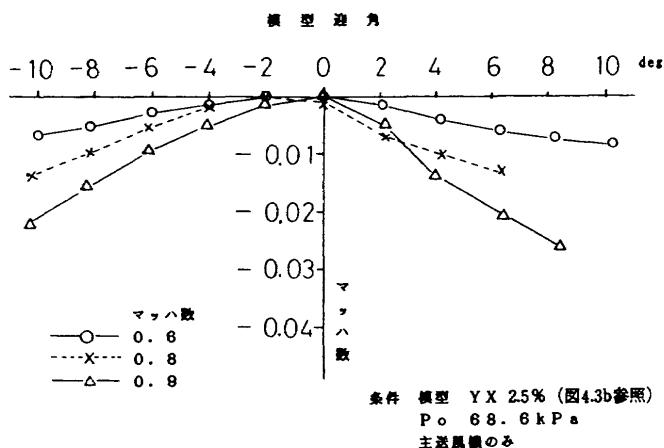


図 4.4 模型迎角とマッハ数変化

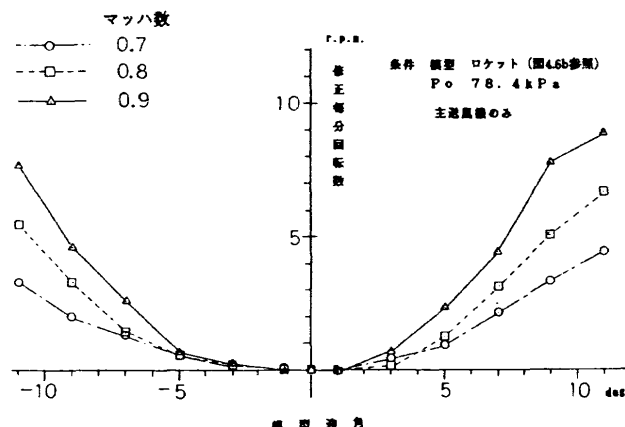


図 4.6 a 模型迎角変化と主送風機修正毎分回転数変化 (ロケット)

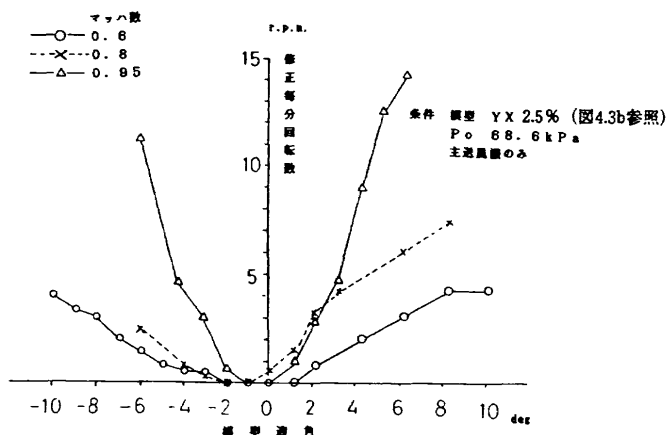


図 4.5 模型迎角変化と主送風機修正毎分回転数変化 (全機)

4.1.2 主送風機の毎分回転数と模型迎角

試験する模型の形態及び迎角変化に対してマッハ数がどのように変化し、それを設定マッハ数に制御するための主送風機の修正毎分回転数はどうなるかについて述べる。

図 4.4 に模型の迎角とマッハ数変化の一例を示す (図 4.3 b の全機模型の場合である)。測定マッハ数と設定マッハ数との差をマッハ数偏差という。当風洞の標準的な運用では、マッハ数偏差が ±0.0010 (通常 ±10 カウントとい

う) 以内となった場合に計測操作を行なう。よって図で判るように、ほとんどの迎角において主送風機の毎分回転数の修正が必要になることが判る。

設定マッハ数及び模型形状・迎角と主送風機修正毎分回転数との関係の一例を図 4.5 及び図 4.6 a に示す。図 4.5 は模型形態が輸送機のような全機模型の場合であり、図 4.6 a は模型形態がロケットの場合で図 4.6 b にロケットの模型略図を示す。図 4.5 及び 6 a から測定部一様流マッハ数は模型の姿勢角と模型の形状に依って変化することが判る。

従って、測定部一様流マッハ数を所定の値に迅速に設定するには、姿勢角の範囲と模型の形状によって決まる送風機の修正毎分回転数を予め知っておくことが重要である。

4.1.3 マッハ数のフィールドフoward制御

旧設備に於いては、所定のマッハ数を得るには、主送風機の駆動系に対し、操作員が個々の運転条件を考慮して、マッハ数偏差が ±0.001 以内になるように主送風機毎分回転数を手動にて制御していた。この様な運転方式では、操作員に高度の熟練が要求されるばかりでなく、所定のマッハ数に整定するまでに要する時間に操作員の個人差が生じ風洞運用上好ましい事ではなかった。

送風系設備の更新に当っては、以上の各点を考慮しマッ

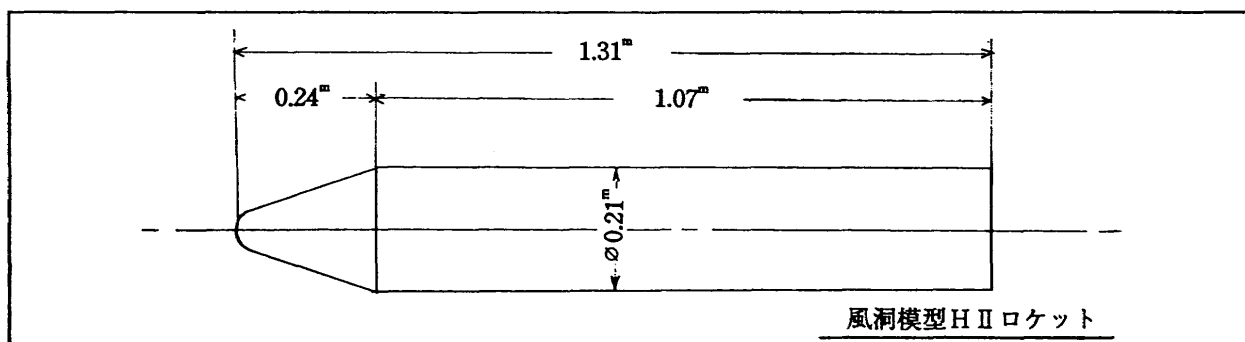


図 4.6 b ロケット模型略図

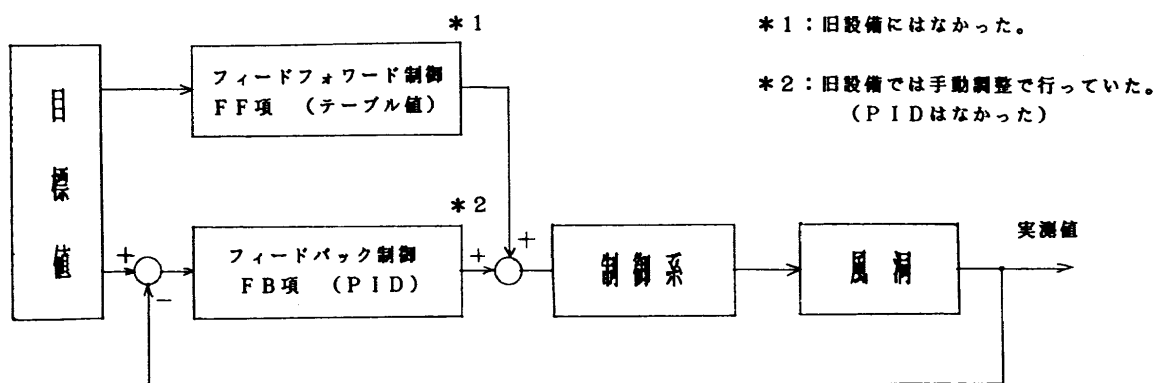


図 4.7 更新後の主送風機制御装置基本ブロック図

表 4.1 モード別マッハ数制御概要

項 目		モ ード		
		$M \leq 0.85$ Aモード	$0.85 < M \leq 1.2$ Bモード	$1.2 < M$ Cモード
主送風機制御系	回転数 (N) 制御	回転数制御 M-NテーブルによるFF項 α, β, T_0, P_0 によるFF項 マッハ数に対するPID	同 左	回転数一定制御 M-NテーブルによるFF項
	静翼角制御	マッハ数に対する テーブルとする	同 左	同 左
補助送風機制御系	静翼角制御 (θ) V_A 2弁	補助送風機には制御出力を しない	同 左 補助送風機において抽気量 一定制御 (θ 及び V_A 2弁)	設定マッハ数を出力する ^{注3} 補助送風機において抽気量 制御する (θ 及び V_A 2弁)
可変ノズル	———	設定ノズルマッハ数に 対するテーブルを持つ	同 左	同 左
風洞温度 (T ₀) 制御	———	設定温度を出力する	同 左	同 左
風洞内圧 (P ₀) 制御	———	設定圧力を出力する	同 左	同 左
備 考		注1: A~Cモードの境界値は可変。 注2: Bモードは、手動操作 (補助送風機) 注3: $M=1.0$ 以上で可変ノズル変更中のとき、ノズルマッハ数とノズル変更 中の信号を受けて、マッハ数に ΔM を上乗せした設定マッハ数を出力する。		

ハ数の設定の作業中に人為的なミスが入り難く更にマッハ数制御システムの変更はソフトの手直しのみで容易に行なえる様に構築した。そのため風洞運転実績や操作員の経験等に基づく予測制御を最大限に取入れた自動制御系を構築することにした。(エキスパートシステム)

主送風機制御装置基本ブロック図を図 4.7 に示す。前節のはじめに述べたように、風洞のマッハ数制御方式を A、B 及び C の三つのモードに分けて運転の最適化を図った。

表 4.1 に A、B 及び C モードによる制御の概要を示す。

表中の M-N は後述するテーブルの 1 つである。

以下にモード別の制御について述べる。

(1) Aモード制御

このモードでは、一様流マッハ数を主送風機の回転速度を調整することによって制御する。また主送風機

の回転速度はフィードフォワード制御 (以下はFF項という) とフィードバック制御 (以下はFB項という) の組合せによって制御される。(図 4.7 参照)

Aモードの上限マッハ数は、電力及び毎分回転数によるマッハ数の効きを考慮しなければ約0.95であるが通常は0.9である。又下限は0.1である。

なおFF項については (4) で述べる。

(2) Bモード制御

測定部の気流の一部は補助送風機によって抽気され、抽気量は、補助送風機の静翼角の角度を調整することによって制御され、各マッハ数に応じ一定に保持される。そして、マッハ数制御は、Aモードと同様に主送風機の回転速度をFFとFB項の組合せで行なう。

Bモードの上限マッハ数は、1.2であり下限は0.8付近である。

表 4.2 FF項 テーブル表の一例 (模型: AGARD-B)

(2) モード判定値設定

模型名称 AGARD-B

モード	下限マッハ数	上限マッハ数
Aモード		0.850
Bモード	0.850	0.850
Cモード	0.850	

(3) M数-回転数-静翼角-ノズルマッハ数設定2 (Aモード)

模型名称 AGARD-B

M数	回転数 (rpm)	静翼角 (°)	ノズルM数
0.000	0.0	15.0	1.00
0.108	100.0	15.0	1.00
0.230	199.3	15.0	1.00
0.400	327.7	15.0	1.00
0.600	451.0	15.0	1.00
0.800	549.4	15.0	1.00
0.900	605.8	15.0	1.00

補助送風機 使用

(4) (α, β) 主送風機回転数補正設定 4 (マッハ 0.500)

模型名称 AGARD-B

α	β				
0	0				
0	0.0				

単位
α, β: °
回転数補正:
rpm

(5) T-回転数補正係数, P-回転数補正係数設定

模型名称 AGARD-B

T (°C)	補正係数	P (mmHg)	補正係数
0	1.00	300.0	1.00
10	1.00	400.0	1.00
20	1.00	500.0	1.00
30	1.00	588.5	1.00
40	1.00	600.0	1.00
50	1.00	700.0	1.00
60	1.00	735.6	1.00
70	1.00	800.0	1.00
80	1.00	900.0	1.00
100	1.00	1000.0	1.00

(6) 試験スケジュール設定

模型名称 AGARD-B

NO	M数(M)	α (度)	β (度)	P (mmHg)	To (°C)	補助有無	補正係数
1	0.200	0.0	0.0	600.0	35	Y	1.00
2	0.300	0.0	0.0	600.0	35	Y	1.00
3	0.400	0.0	0.0	600.0	35	Y	1.00
4	0.500	0.0	0.0	600.0	36	Y	1.00
5	0.600	0.0	0.0	600.0	37	Y	1.00
6	0.700	0.0	0.0	600.0	38	Y	1.00
7	0.800	0.0	0.0	600.0	39	Y	1.00
8	0.850	0.0	0.0	600.0	40	Y	1.00
9	0.900	0.0	0.0	600.0	41	Y	1.00
10	0.950	0.0	0.0	600.0	42	Y	1.00
11	1.000	0.0	0.0	600.0	43	Y	1.00
12	1.100	0.0	0.0	600.0	44	Y	1.00
13	1.200	0.0	0.0	600.0	44	Y	1.00
14	1.300	0.0	0.0	600.0	44	Y	1.00
15	1.400	0.0	0.0	600.0	44	Y	1.00
16	1.400	0.0	0.0	600.0	44	Y	1.00

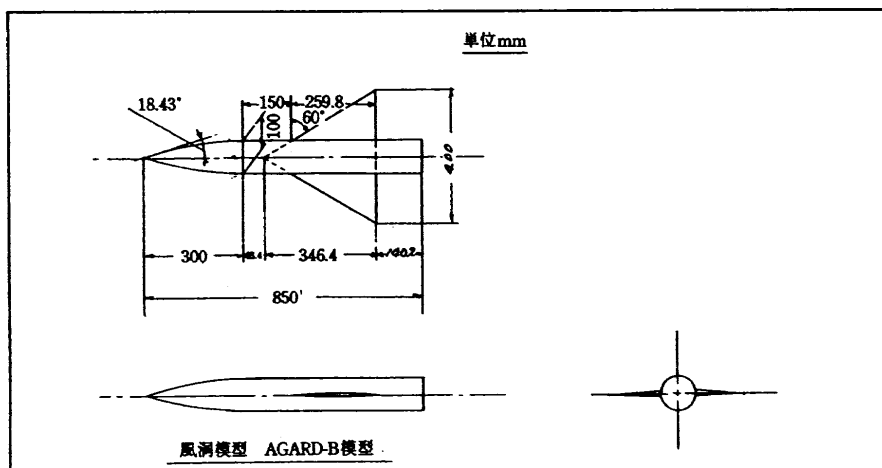


図 4.8 AGARD-B模型略図

(3) Cモード制御

各マッハ数に応じた主送風機の回転速度は、FF項によって一定に制御され、マッハ数制御は、補助送風機の静翼角度で制御する。

なおCモードの上限マッハ数は1.4であり下限は0.8付近である。

各々のモードの境界となるマッハ数は、模型形態及び供試模型の最大迎角によって選択する。

(4) FF項 (エキスパートシステムの導入)

一様流マッハ数は、FF項の働きによって速やかに設定値に到達する。

後記のテーブルを使用して、まず主送風機の毎分回転数を、FF項で与えられた設定毎分回転数 $((N + \Delta N) \times K)$ 、ここでの記号のNは、マッハ数による毎分回転数設定値、 ΔN は模型迎角による毎分回転数修正予測値、Kは、温度及び圧力による毎分回転数補正係

① CRTの画面 (試験スケジュール)

模型名表示 A-全機
試験名表示

NO	M数	α	β	P. 設定 (m/s)	T. 設定 (°C)	補助送風機	振込外動
1	0.300	0.0	0.0	588.5	37		1.00
2	0.600	0.0	0.0	588.5	38		1.00
3	0.800	10.0	0.0	588.5	39		1.00
4	0.800	0.0	0.0	588.5	40		1.00
5	0.600	6.0	0.0	588.5	40		1.00
6	1.000	0.0	0.0	588.5	40		1.00
7	1.000	6.0	0.0	588.5	40		1.00
8	0.900	0.0	0.0	588.5	40		1.00
9	0.800	0.0	0.0	588.5	40		1.00
10	0.300	0.0	0.0	588.5	39		1.00
11							
12							

データ表示時 T 月 日 時 分

③ FF項 テーブル値

M数-目標数-静翼角-ノズルマッハ数設定2 (Aモード)

M数	目標数 (rpm)	静翼角 (°)	ノズルM数
0.000	0.0	15.0	1.00
0.300	254.0	15.0	1.00
0.600	452.0	15.0	1.00
0.800	550.0	15.0	1.00
0.900	606.0	15.0	1.00

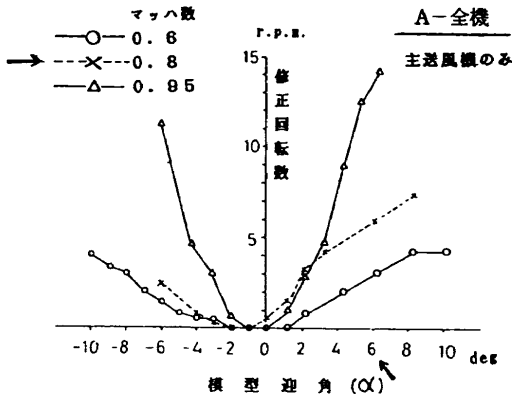
模型名称 A-全機
補助送風機 使用

(α, β) - 主送風機目標数補正設定 4 (マッハ 0.800)

α	β	0			
0		0.0			
6		6.0			
8		7.5			

単位 α, β : °
目標数補正: rpm

② 模型迎角変化と主送風機修正回転数変化 (全機)



④ CRTの画面 (自動制御データ表示)

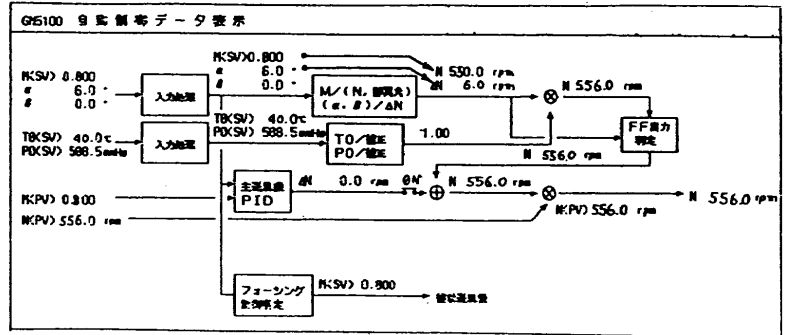


図 4.9 主送風機制御システムと実験の一例

数である) になるように制御する。主送風機の実際の毎分回転数はFF項の設定毎分回転数の ± 3.0 rpm.範囲以内になったらFB項 (PID制御) を働かせて、設定マッハ数に到達するように制御を開始する。

そのために、FF項の基礎となるテーブルは、各々の模型の形態及び実験条件に合ったものを作ることが重要である。

FF項のテーブルは、オペレータの手動運転時の過去のデータの蓄積をもとに、目標あるいは現在の状態と、駆動設備に対する操作の関係を模型の形態ごと、マッハ数ごと又は、A、B及びCのモードごとに整理して作成した。(代表的なものは、図 4.1 ~ 図 4.6 a を基にした)

テーブルは、次の6種類から成る。

- 1) 模型名
- 2) モード判定値設定 (各モードのマッハ数領域設定用)
- 3) 主送風機条件設定
目標マッハ数に対応する主送風機毎分回転数、主送風機静翼角及びノズルマッハ数設定を示す。(Aモードで補助送風機不使用、Aモードで補助送風機使用、Bモード及びCモードのテーブル計4枚用意)
表 4.1 のM-Nはこのテーブルである。
- 4) 模型姿勢の影響補正

模型迎角 α 及び横すべり角 β に対応する主送風機毎分回転数補正設定を示す。(テーブル計7枚用意)

5) 集合胴条件補正

T₀及びP₀による主送風機毎分回転数補正係数設定を示す。

6) 試験スケジュール設定

例えば、図 4.1 ~ 3 a を用いてテーブル 2)、3) が作られ、図 4.4 ~ 6 a を用いてテーブル 4) が作られる。

このテーブル 1) ~ 6) を運転制御システム (図 3. 3 参照) の制御用計算機に登録する。そして送風系設備を始動する前に設定される 6) の試験スケジュールの条件に合わせて、このテーブルの組合せを自動的に変化させ、またその条件に合う組合せがテーブル内にないときは、近傍値を捜し、計算機内で線形補間する。

このテーブルの組合せが、FF項として計算出力され、目標マッハ数に速く整定出来るように利用される。

FB項は、基本的にPIDによる制御である。

表 4.2 に 1) ~ 6) のテーブルの一例を示す。同表は本風洞の遷音速領域の標準模型であるAGARD-Bのデータ (AGARD-Bの模型の略図は図 4.8 参照) であり、全マッハ数を全自動運転で行なうときのもので、Aモードで0.85まで制御を行ない、つぎのマッハ数0.9以上をCモードで行なうものである。

図4.9に実験の一例をしめす。同図は全機形態でマッハ数0.8、迎角 $\alpha=6.0\text{deg}$ のときの風洞データ、テーブル値及び運転制御システムのCRTの画面を示した。

図中の①は、その日の試験スケジュールを示し、矢印が現在実験を行なっているケースである。 $M=0.8$ 、 $\alpha=6\text{deg}$ 、 $\beta=0\text{deg}$ 、 $P_0=78.4\text{kPa}$ (図の表の P_0 は水銀柱の値に換算した値である)、 T_0 は 40°C である。つぎの欄の補助送風機有=1は、補助送風機を使用する風路で試験をすることを意味する。(補助送風機を使用のAモードのテーブルをもちいる。)この欄の条件によってAモードのテーブルが異なる。

②は、①で指定したケースの過去の実験データの一例で α に対する修正毎分回転数の図であり、ケースは、 $M=0.8$ の $\alpha=6\text{deg}$ なので、修正毎分回転数は6 r.p.m.

③は、②のデータを基にしたFF項のテーブル値を示す。上段の表よりマッハ数0.8に対する主送風機の毎分回転数は550r.p.m.で、下段の表より $\alpha=6\text{deg}$ に対して修正毎分回転数は、6 r.p.m.ということが判る。

よって2つの表より、 $N=550\text{r.p.m.}$ 、 $\Delta N=6\text{r.p.m.}$ がテーブルより選ばれて、実際の制御に使用される。

④は、③で選ばれたFF項の状態を、CRTの画面(自動制御データ)に示した。図中(SV)は設定値であり、(PV)は測定値である。図中右上の M (SV):0.800、 α :6.0deg、 β :0degは①の試験スケジュールの矢印のケースである。右上の N :550r.p.m.、 ΔN :6.0r.p.m.は、③のFF項のテーブルより選ばれた値である。中段の主送風機PIDの ΔN 値は0.0r.p.m.であり、つぎのONの記号は、PID制御が作動中であることを意味する。

FF項の値で設定マッハ数0.80が整定されていることが判る。右の中央の $N556.0\text{r.p.m.}$ はサイリスタモータへの毎分回転数値設定値であり、左側の N (PV)556.0r.p.m.は、サイリスタモータの実際の毎分回転数である。テーブル値が的確で、良好な制御状態であることが判る。オペレータは、運転時にこの④の自動制御の画面を監視して、テーブル値が的確であるかどうかをチェックしながら各種の模型についてテーブル値を蓄積していくのである。

新規の実験の場合は、過去のデータの中より模型の形態が類似なものをテーブル値に使用する。そして第一回目の実験を行ないながらデータを収集し、それを基に次回より、新規の模型のテーブルを作製して実験を行なってゆく。

場合によっては、測定部内の模型を入っていない状態(模型指示装置のみ)の基本条件のテーブル値を使用し、実験しながらデータを収拾し、それを基に次回より、新規の模型のテーブルを作製して実験を行なってゆく。

現在、模型の迎角の変化が5 degステップ以内であれば、FB項のみで、マッハ数制御を行ない、4)の模型姿勢の影響補正設定のテーブル値は、 α と β が共に0 degの場合の

みの値を入れて、他の角度は省略する場合もある。これは、模型迎角変化によるマッハ数偏差に対して、FB項で十分対応できるため駆動電動機の回転速度制御が優れていることによる。

より早くマッハ数を整定させるためには、このFF項の内容を充実させて、効力を十分に発揮させるようにする必要がある。

4.1.4 旧駆動電動機の概要と問題点

主送風機用の旧駆動電動機は、図3.2に示すように誘導電動機と直流電動機の2基を用いて、次の要領で運転していた。

- (1) 主送風機の所要動力は概ね毎分回転数の3乗に比例するため、主送風機の回転数のうち、70r.p.m.から310r.p.m.までは、4,500kW直流電動機(以下DMという)一台で運転し、負荷が大きくなる310r.p.m.以上710r.p.m.迄18,000kW誘導電動機(以下IMという)とDMで帶動運転していた。なお、精密な回転速度制御はDMが関与していた。
- (2) DMとIMの帶動運転で、DMとIMの負荷分担の割合は、負荷の大部分をIMが負担し、残りをDMが負担するシステムであった。それは、負荷分担制御回路が用いられ、DMの負荷が常に一定になるようにする。もしDMに過負荷が生じた場合には、IMの液体抵抗器により徐々に負荷をIMに移行するシステムである。
- (3) DMの電源設備にタップトランスと水銀整流器が使用されていたので、主送風機の毎分回転数設定には、70から710r.p.m.をタップトランスにより20r.p.m.ごとの段階設定で行ない、その20r.p.m.の間を水銀整流器により $\pm 10\text{r.p.m.}$ の連続設定で行なっていた。

以上の要領で行なっていたために、次に示すような不具合点があった。

- (1) に関しては、主送風機の毎分回転数においてDM単独運転からIMとDMの帶動運転に移行したとき回転数が不連続になる(298r.p.m.付近から一気に330r.p.m.付近まで上昇する)。そのため、マッハ数0.35~0.45の範囲の設定が不可能な場合もあった。又、風洞内圧 P_0 が120kPa以上の運転において、マッハ数約0.30~0.4付近は、DMの容量不足から運転が不可能であり、主送風機起動時は、100kPaより起動し、DMとIMが帶動運転になってから風洞を加圧して、マッハ数0.5以上の試験を行なっていた。
- (2) に関しては、回転速度の制御は、DMが行っていたが、DMの毎分回転数の上昇及び下降速度では、一様流のマッハ数を設定マッハ数に維持するのに時間がかかった。又IMの液体抵抗器では、IMの毎分回転数が低く成る

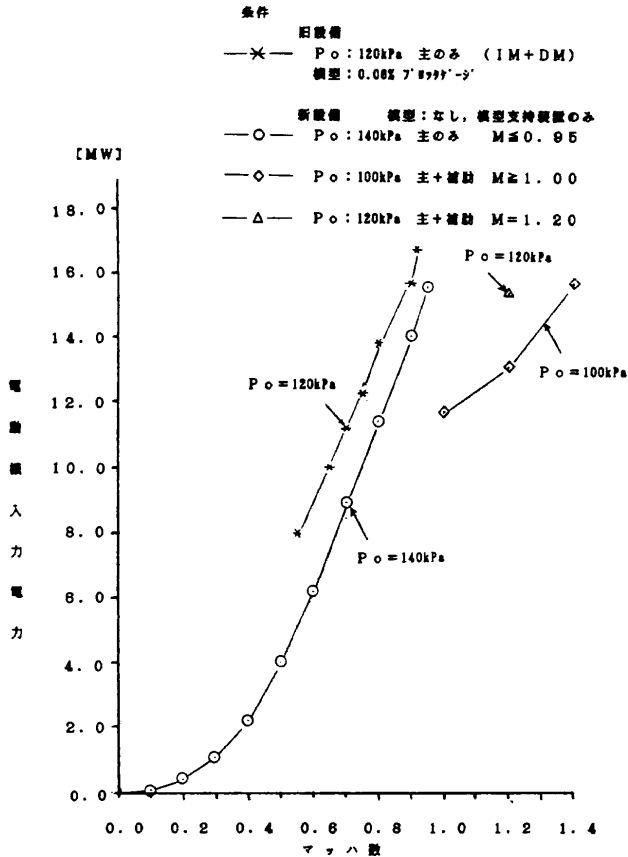


図 4.10 主送風機設備の更新前後の電動機入力電力 (風洞内圧加圧状態)

程液体抵抗器に電力を消費する割合が増加するので、毎分回転数の低下に応じIMの効率も低下する。

(3) に関しては、20r.p.m.ごとの段階設定によるマッハ数制御の不便さが大きかった。

例えば、目標マッハ数整定時又は模型迎角による毎分回転数修正時において、連続設定の±10r.p.m.を越えて後2r.p.m.上昇させたい時、一度段階設定で20r.p.m.上昇させて、それから連続設定で8r.p.m.下降させる。この一連の操作による、送風機の毎分回転数の上昇下降が風洞の気流に影響を与えて、マッハ数制御に余分な時間がかかっていた。又、この操作時に誤操作をしやすく、マッハ数を制御する上で大変不便であった。

更新に際しそれらを改善するために、駆動電動機は、大容量 (22,500kW) の1台で70r.p.m.から710r.p.m.まで広範囲で連続的に回転速度を制御できる方式のもので、回転速度の制御精度も旧駆動設備と同等の最大毎分回転数710r.p.m.の±0.03%以内という要求を満足させる必要があった。送風機本体等の既存設備との整合性も合わせて検討した結果、サイリスタモータ方式⁴⁾を採用した。理由は、他方式 (静止セルピウス・電圧型インバータ・電流型インバータ・サイクロコンバータ) と比較検討し、設備の経済性及び大容量機の実績等から最適であると判断したことによる。又回転数制御特性も良く自動制御も容易である。

図 4.10に、新旧の設備における運転時所要電力を示す。

(補助送風機の更新後の入力電力も合わせて示した)

同図で示したように、更新後のサイリスタモータでは、主送風機起動時から、風洞内圧を140kPaに加圧した状態でマッハ数0.1から0.95まで連続的に運転が可能となった。

なお図中に示さなかったが、風洞内圧が140kPaのときの新設備の所要電力が旧設備の100kPaのときの所要電力と、ほぼ同じ値であった。このことは、所要電力は風洞内圧にほぼ比例することから、新設備は旧設備の約70%の動力で済むこと、又は、同電力であれば新設備は旧設備より1.4倍のレイノルズ数 (風洞内圧1.4倍) の実験が可能となることを示し、サイリスタモータによる省エネルギーの効果の一端を示している。なお、省エネルギー効果に関しては更に5節でふれる。

4.2 補助送風機設備

4.2.1 旧補助送風機設備によるマッハ数制御の概要と問題点

旧設備の運転とマッハ数の制御は、次のように行なっていた。(機器名は図 1.1 及び 4.11を参照のこと)

補助送風機設備 (図 1.1) は、測定部の気流を抽気することによって測定部の一様流マッハ数を制御する機能をもっていることは先にも述べた。旧設備では以下の要領で運転していた。

測定部の気流の一部は、図 4.11に示すように、一定の回転速度で保持された補助送風機によりVA1弁 (マッハ数制御弁) を通して抽気され、主冷却器及び測定部下流端で主流に帰還する。

又補助送風機を所定の圧力比で作動させるために補助送風機の冷却器出口側からVA2弁 (圧力比制御弁) を通して、送風機入口に側路管で結ばれている。

このため、マッハ数はVA1弁及びVA2弁の開度を手動調整することによって設定していた。この2個の弁は、ロータ弁であり制御は非線形で、熟練度の高い操作が要求されていた。

旧設備において、補助送風機設備の実際の運転状態を把握して、更新設備の仕様を決定した。

(1) 旧設備の運転状態と圧力比

図 4.12に、補助送風機の通常運転時の状態を示す。旧設備においては、補助送風機の圧力比はほとんど3.0前後の一定値で運転されており、低マッハ数0.8~1.2では、風洞の運転に必要な圧力比 (風洞の測定部から補助送風機入口側までの風路損失を考慮する必要があるので図中では必要最低圧力比のラインよりも少し高めにある) よりも補助送風機の圧力比が高く、他方、マッハ数1.4付近では、実際の運転に必要な圧力比に対して補助送風機の圧力比が不足で、模型の形態によっては、マッハ数1.4の設定が不可能な場合

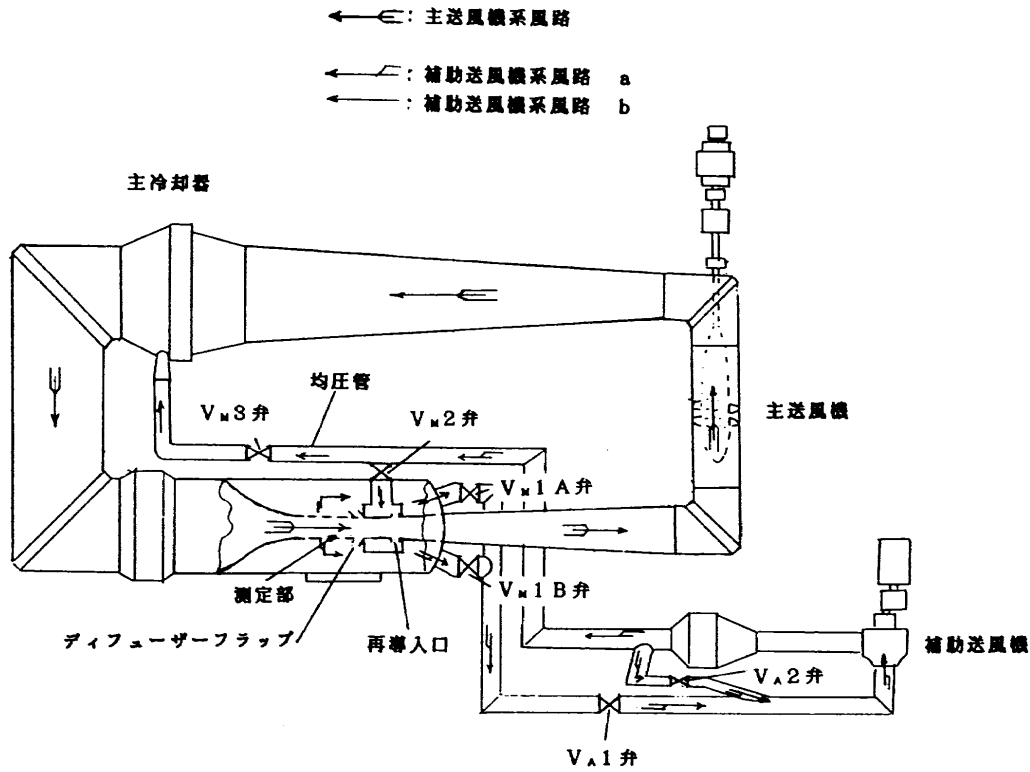


図 4.11 風洞風路

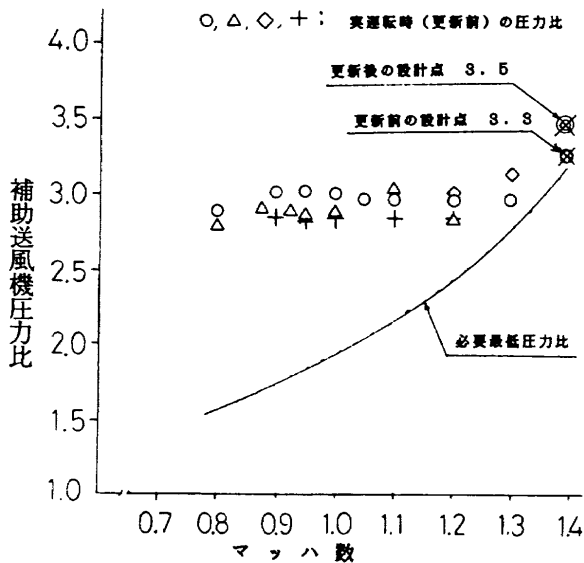


図 4.12 補助送風機の通常運転状態

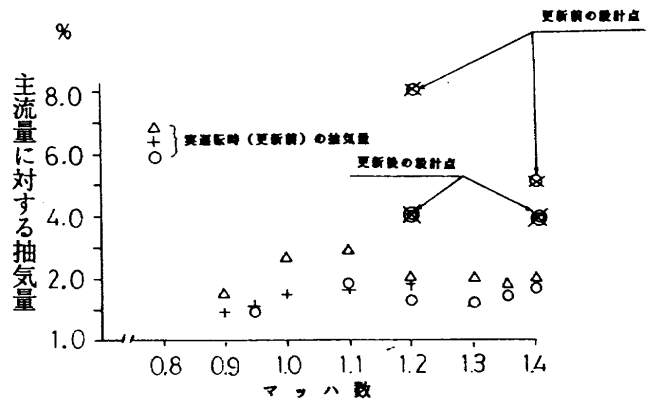


図 4.13 補助送風機の運転時の抽気量

も生じていた。

これらを更新時の設備において改善する必要があった。

(2) 旧補助送風機設備の抽気量

図 4.13 に旧設備の運転時の抽気量（主風路流量に対する抽気量の比）を示す。通常運転時は、△、+ 及び ○ に示される値で 1～3% の範囲であるが、旧設備の設計点はこれより相当に高く、マッハ数 1.2 で約 8%、マッハ数 1.4 で約 5% であった。

以上のように送風機的设计抽気量が過大であり、風

洞の内圧を 117.7kPa に加圧した状態で 12,000kW の駆動電動機設備を備えた設備になっていた。従って更新時には、実際の運転に適合した抽気量の設備にする必要があった。

4.2.2 新補助送風機設備の仕様とマッハ数制御法

(1) 新設備の補助送風の仕様

補助送風機設備においてもマッハ数自動制御運転が必要であり、補助送風機の起動停止時間が短く、所要電力も少ない方式及びオペレータの操作が簡便でヒュ

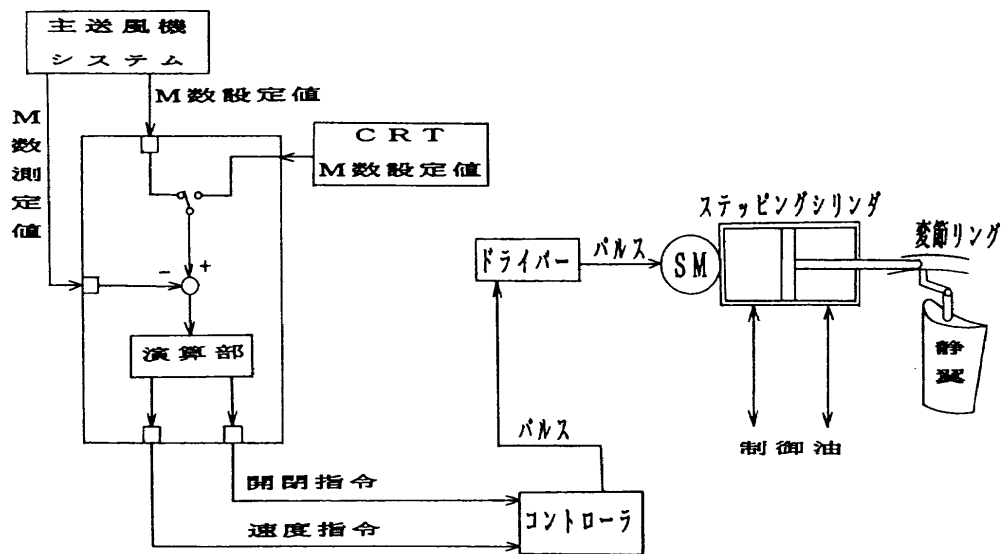


図 4.14 更新後の補助送風機設備のマッハ数制御装置概念図

ーマンエラーを防止するシステムであることが望まれた。

そのために、前項 (1) 及び (2) より補助送風機本体の仕様は、圧力比において風洞から要求される値より風管等の損失、模型形態及び迎角等も考慮して余裕のある値3.5を設定圧力比とし、設計抽気量は、旧設備で適正抽気量として実証されている4%を採用した。(設備基本仕様は、表3.1参照)

(2) 補助送風機設備におけるマッハ数制御の概略

旧設備のマッハ数制御における不具合を解消するためには、設備の操作を単純化し、抽気量を自動制御できるシステムに更新する必要がある。

その結果、上記 (1) により設備全体を小型化し、マッハ数制御においては、抽気量を制御できるよう送風機本体の静翼角制御方式を採用した。

図 4.14 に更新後の補助送風機設備のマッハ数制御装置の概念図を示す。

手動-自動の切替えは、補助送風機の操作卓上にある。

手動時は、操作卓の操作釦の開閉指令がコントローラに出力される。コントローラからパルス信号に変換されて、静翼を動かすステッピングシリンダへ出力される。静翼の角度を動かすことによって、送風機吸込流量に変化を来し、このため測定部の圧力が変化するため一様流マッハ数は変化する。

自動の場合は、主送風機駆動用運転制御システムからマッハ数設定値信号とマッハ数測定値信号を受け計算機にて演算した信号をコントローラに出力し、コントローラ以後ステッピングシリンダ迄は手動と同じ動作で出力され、所定のマッハ数を得るように制御する。

設定マッハ数が1.0を越えるマッハ数範囲では、ノ

ズルの前後の圧力比を常に設定マッハ数によって与えられる値に保持してやる必要があることが言うまでもない。この条件が満たされないと膨張不足流となり、一様流は成立しないばかりではなく供試模型や風洞に対して有害な振動荷重等が加わる。

従って、このマッハ数範囲での手動によるマッハ数設定 (更新後はモードB及びC制御) は、本風洞のマッハ数調整の中で最も熟練を要する厄介な作業である。

また可変ノズルを動かす設定マッハ数のとき、例えば1.1から1.2へと設定マッハ数を変化させるときは、可変ノズルマッハ数 (MN) を常時主送風機の運転制御システムに取り込み、 ΔM だけ MN より高くなるように ($MN + \Delta M = Mc$)、主送風機または補助送風機へ設定マッハ数 Mc を出力する。MN が1.1から1.2になるまで Mc は $MN + \Delta M$ で出力される。MN が1.2になったとき、 $MN = Mc$ の値が設定マッハ数となり、それ以後可変ノズルが動くまで Mc は1.2で出力されて、そのマッハ数で制御されることになる。

現在、風洞実験を行ないながら同図の演算部内の制御係数 (パラメータ) を調整中である。なお制御係数は、CRT 上で会話形式に依って容易に変更できる。種々の風洞実験に対応した制御係数を得るために、データ収集も合せて行なっている。

これらのマッハ数制御に関しては、調整の完了後に報告する予定である。

図 4.15 に更新後風洞実験を行なった時の補助送風機の静翼角度・圧力比及び流量の運転状態の一例を示す。(図の条件は吸込み温度60℃、吐出圧力100kPaに換算してある) 既に述べたように、補助送風機の設計抽気流量は4%である。

平成4年10月より11月現在まで実験を行なってい

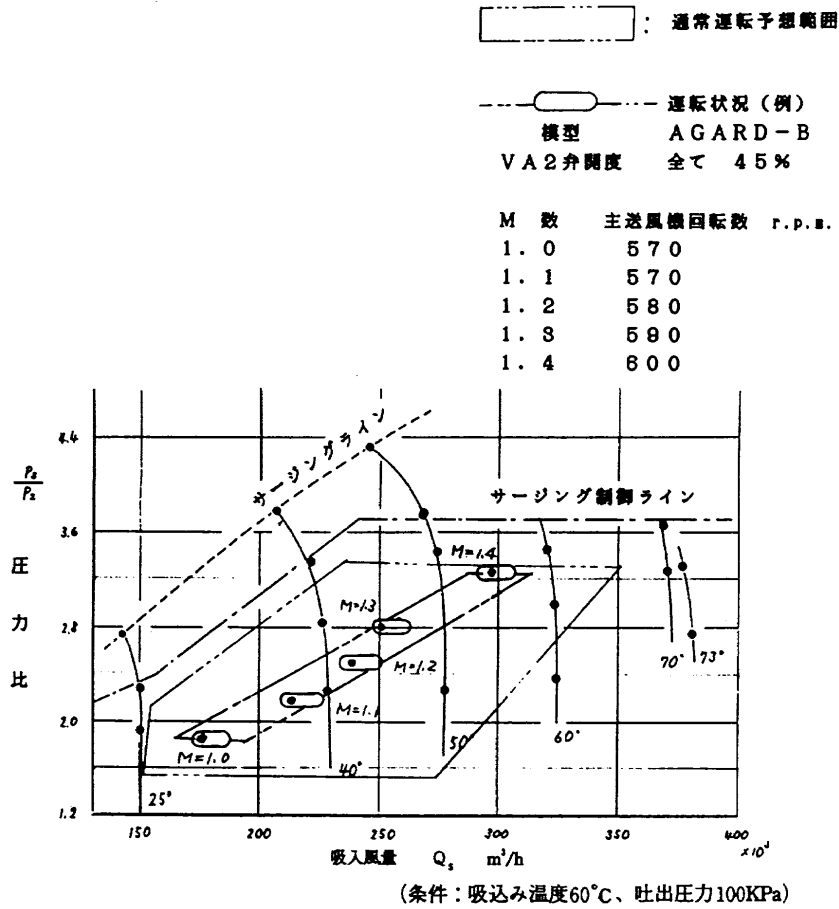


図 4.15 補助送風機運転状態の一例

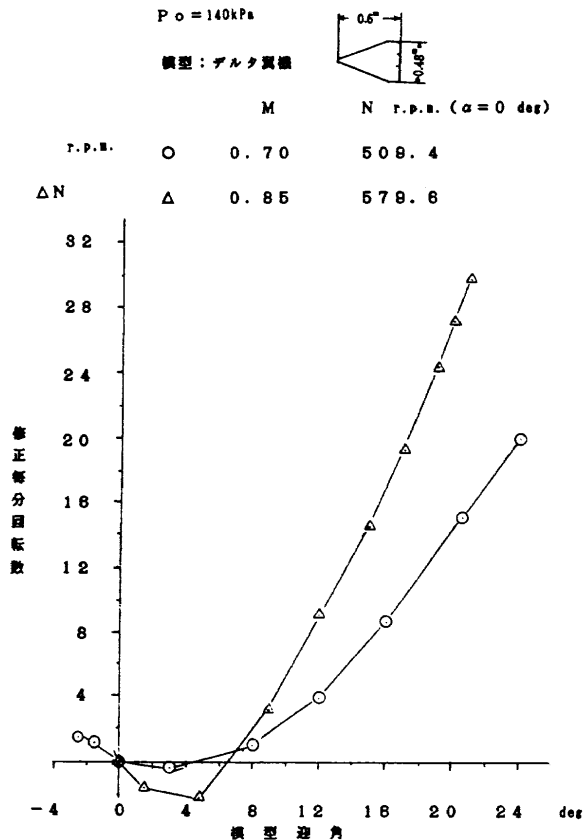


図 4.16 模型仰角と補助送風機修正静翼角の一例

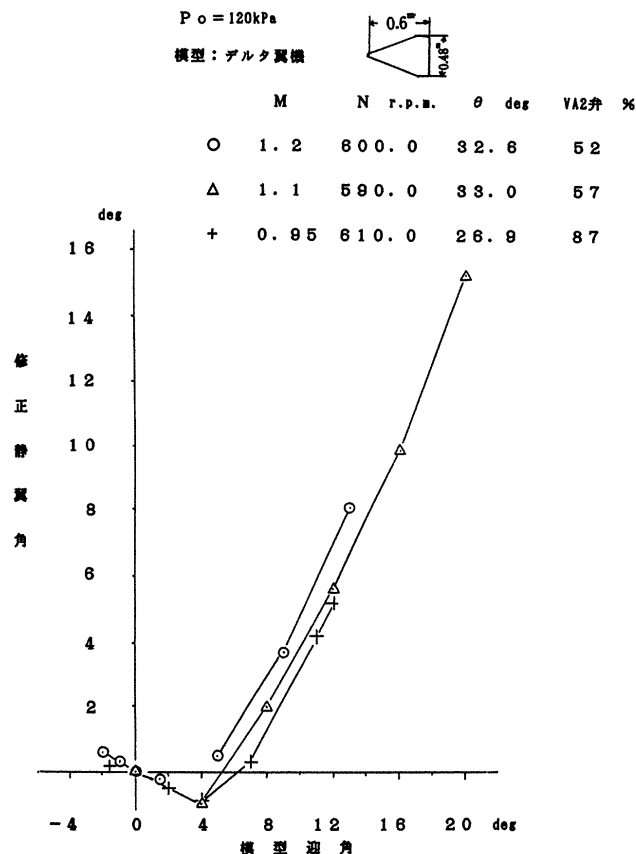


図 4.17 模型仰角と主送風機修正毎分回転数の一例

るが、運転状態は図中の通常運転予想範囲内であり、送風機の設計値（約 $380 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ ）以下で運転されていることが判る。

補助送風機がサージングに入る範囲は、同図に示すサージングラインから上方である。

またVA2弁によるサージング自動防止システムの作動範囲はサージング制御ラインで同図に示す。なお同図の●印は実測値を示す。

Cモードの運転において、模型迎角が変化するとき、一様流のマッハ数を設定マッハ数に保持するために補助送風機の静翼角度を調整する。その調整した角度を修正静翼角といい、その一例を図 4.16 に示す。合わせて、主送風機のみで、Aモード運転のマッハ数0.7及び0.85の修正毎分回転数の一例を図 4.17 に示す。ただし模型は、両図とも同じである。

静翼角 1 deg 変化あたりのマッハ数変化を $\Delta M / \Delta \theta$ とすると、マッハ数 0.95~1.2 付近では、その値は約 0.006 であった。主送風機の $\Delta M / \Delta N$ は、図 4.1 よりマッハ数 0.85 では約 0.002 であり、この場合マッハ数の設定精度を ± 10 カウント以下とすれば、主送風機の毎分回転数の制御精度は $\pm 0.5 \text{ r.p.m.}$ 以下にする必要があり、実機では $\pm 0.07 \text{ r.p.m.}$ とはるかに高精度の回転数制御を行っている。

補助送風機の静翼角によるマッハ数制御は、次のと

おりである。最小制御可能角度は $\pm 0.05 \text{ deg}$ であり、マッハ数 0.95~1.2 付近では、1 deg 変化あたりのマッハ数変化が約 0.006 であるので、単純計算して最小制御可能角度において ± 0.0003 のマッハ数制御が可能である。ただし、ステッピングシリンダの最小可動 $0.05 \text{ mm} = \text{静翼角度 } 0.05 \text{ deg}$ とした場合である。（ステッピングシリンダの分解能は、 $0.002 \text{ mm}/\text{パルス}$ 、精度は $\pm 0.05 \text{ mm}$ である）

補助送風機設備の制御装置には、送風機本体のサー

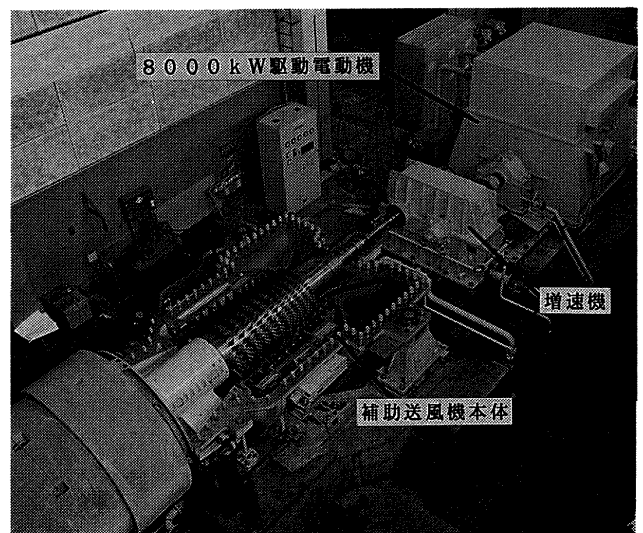


図 4.18 更新した補助送風機と駆動電動機の写真

ジング防止自動制御回路・逆流防止システムが組み込まれているので、オペレータ自身は、マッハ数制御においてサージング及び逆流には、気をつかわなくて済み、手動時においても自動時と同様にマッハ数制御に専念できる。

図 4.18 に更新した補助送風機の写真を示す。(送風機上部ケーシングを組立てる前)

5. 送風系設備の更新による省エネルギー効果

5.1 主送風機設備の更新による省エネルギー効果

主送風機用駆動電動機は、本更新工事によって、4,500 kW の DM と 18,000 kW の IM の 2 基から、22,500 kW のサイリスタモータ 1 基に代替した。このことは先に述べた通りである。この新旧駆動電動機の所要電力と測定部一様流マッハ数との関係の一例を図 5.1 に示す。

同図は、マッハ数と新及び旧電動機の所要電力との関係を示す。主送風機単独運転で、ディフューザーフラップ⁵⁾を開の状態マッハ数を 0.6 から 0.95 まで変化させた場合の所要電力を示す。

同図から、主送風機設備の更新に依って設定マッハ数に

関係なく、2,300 kW の動力が節減されたことが判る。このことは、設定マッハ数 0.95 で約 23%、0.6 で 37% の節電効果がそれぞれ得られたことを意味する。

5.2 補助送風機設備の更新による省エネルギー効果

新補助送風機設備は、先にも述べたように高速化による小型化を図るとともに、送風機静翼角を変えることによって抽気量と圧力比を制御する方式を採用した。

図 5.2 は補助送風機更新後の所要電力を示したものであり、運転条件は図中に記入してありとおり新旧設備とも同一 ($P_0 = 80 \text{ kPa}$ 、主送風機毎分回転数 615 r.p.m.) である。

旧設備は、約 7,800 kW でほぼ一定である。

新設備では、送風機本体の静翼角の角度を変化させて、各々のマッハ数に必要な抽気量と圧力比を調整するために、マッハ数の増加と共に所要電力を増加するが、最大でも 3,700 kW 程度である。

新旧設備の所要電力の差は、マッハ数 1.0 付近では約 5,000 kW でこの値は旧設備の所要電力の 64% に匹敵し、マッハ数 1.35 では約 4,000 kW で 51% に匹敵する。風洞内圧 1000 kPa に換算するとそれぞれ、約 6,250 kW 及び 5,000 kW の

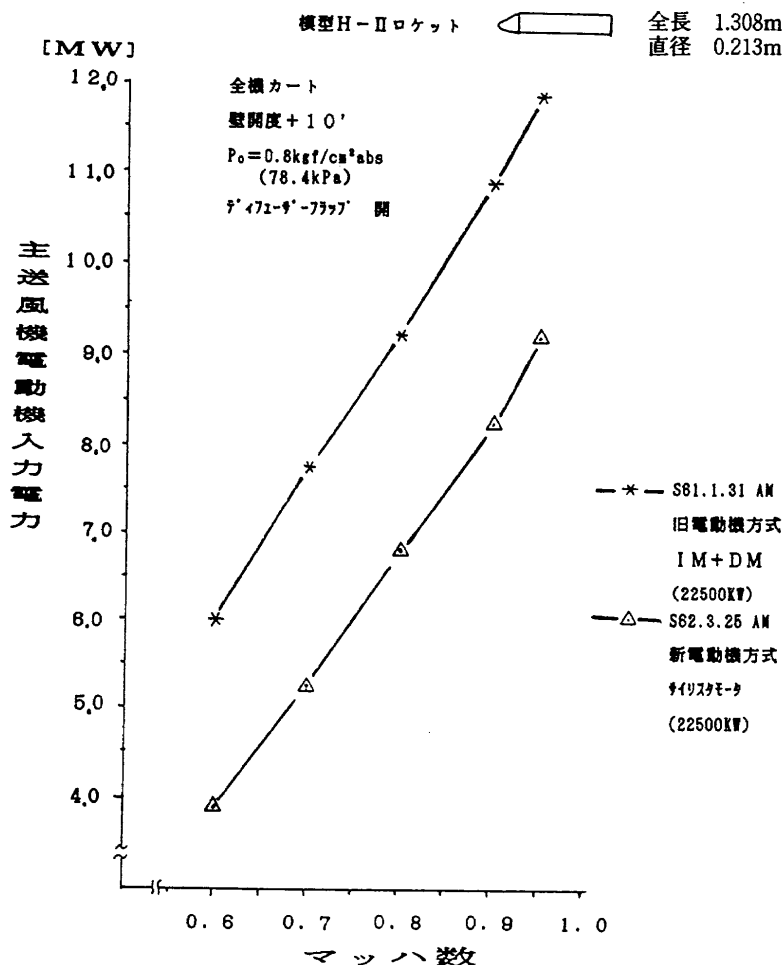


図 5.1 主送風機の新旧電動機方式による入力電力の比較 (一例)

節電効果を得た。

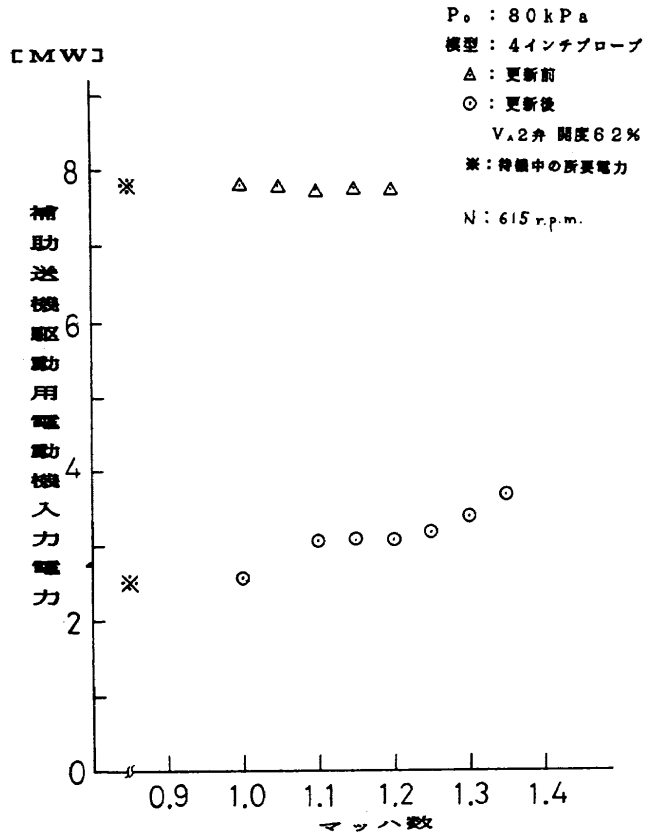


図5.2 補助送風機更新前後の電動機入力電力

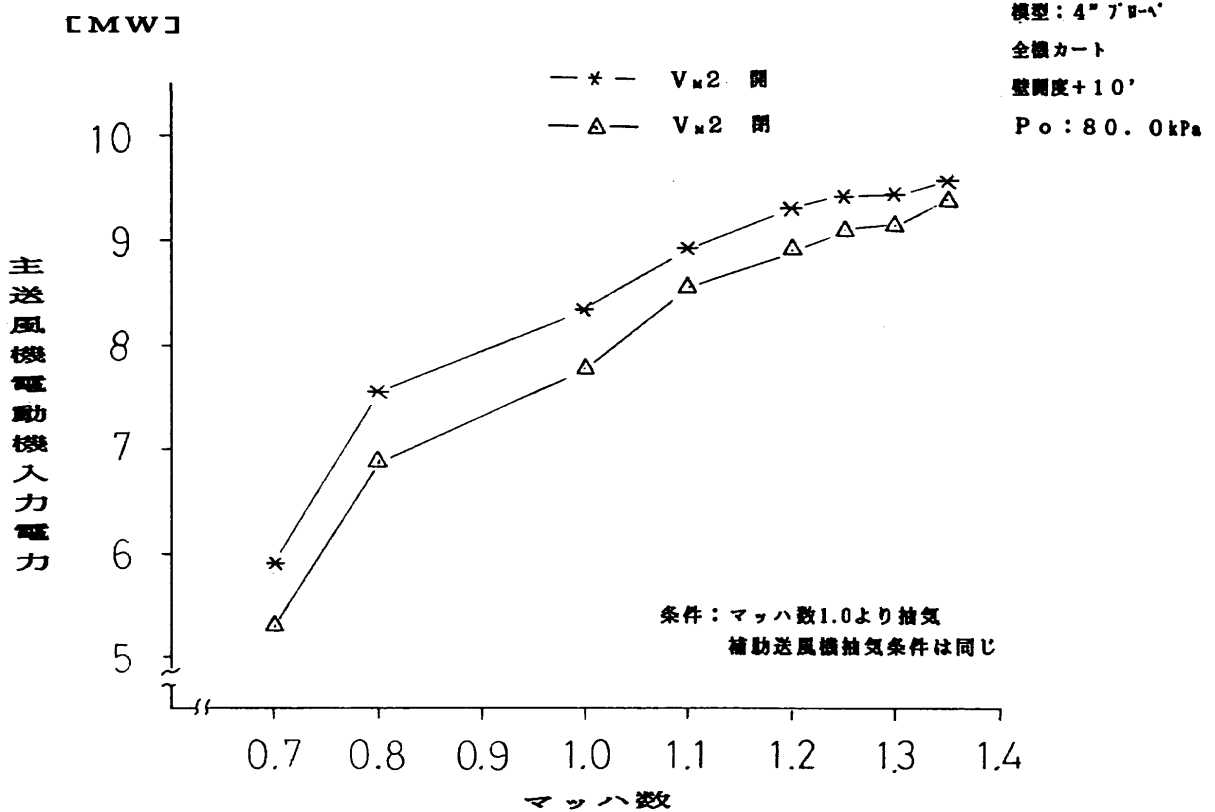


図5.3 V_{m2}弁の開閉による主送風機入力電力の変化

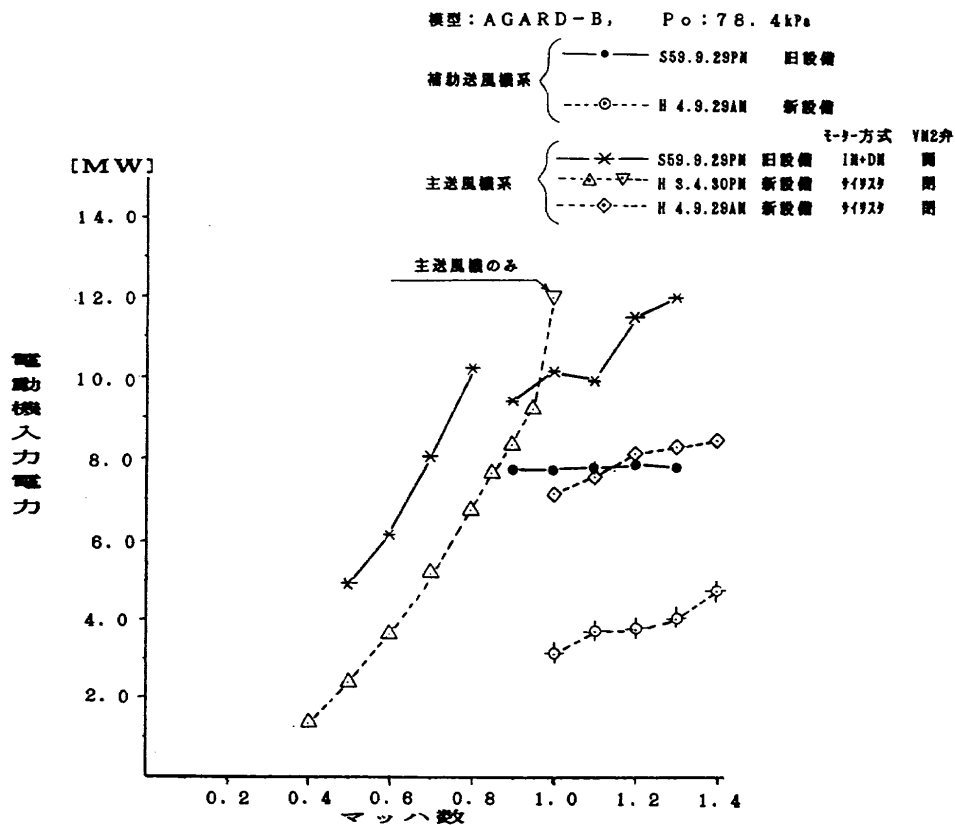


図 5.4 風路変更及び設備更新前後の所要電力の比較

5.3 風路変更による省エネルギー効果

本風洞の風路は、主送風機系と補助送風機系に分けることができる。(図 4.11 参照)

補助送風機系風路は、大別すると a と b の 2 つの風路で構成されている。a の風路は、測定部から VM 1 A と VM 1 B 弁及び VA 1 弁を通して補助送風機入口へ導き補助送風機吐出口より、VM 2 弁を介して測定部直後の再導入口から、主送風系風路へ帰還する風路である。又補助送風機の吐出圧を安定させるため帰還路は均圧管により主冷却器下流部に接続されている構造になっている。同図に示す b の風路は、VM 2 弁の上流で分岐して、この均圧管と VM 3 弁を経て主回路の冷却器下流部（直径 10m で集合胴の直径と同じである）へつながっている風路である。

主送風機と補助送風機の帶動の運転時は、従来風洞の起動時から VM 3 弁及び VM 2 弁を開の状態にしているので特に補助送風機が実際運転されるより前の低速領域では、主流風路の他に主冷却器下流の VM 3 弁から VM 2 弁を通して再導入口へ流れるもう 1 つの風路ができる。この風路を流れる風洞空気は測定部を通らないから、風洞にとっては無駄なもので主送風機に余分な負荷を与えていた。

この測定部をバイパスする風路をなくすために VM 2 弁を閉め切ることとした。従って高速領域での補助送風機で抽気した空気は、均圧管より VM 3 弁を通して冷却器下流へ返すことになる。

マッハ数 0.7 から 1.35 まで VM 2 弁の開閉による主送風機入力電力の変化は、図 5.3 のとおりであった。ただしマッハ数 1.0 以上を抽気を行ないその抽気条件は同一である。同図から、主送風機の必要電力は、VM 2 弁を全閉にして運転することによってマッハ数 0.7 ~ 0.8 で 10% 前後、1.0 で 7%、1.2 で 5%、1.3 以上は 2% 前後の節約が可能であることが判る。

この VM 2 弁を閉めて行なう運転方式を標準とし、平成 2 年以降はこの方式を実施している。

5.4 風路変更と設備更新による省エネルギー効果

これまで述べてきた風路変更及び設備更新前後の所要電力を比較したのが図 5.4 である。同図から、マッハ数 0.9 迄の主送風機単独運転に必要な電力は新設備の場合、旧設備の 34 ~ 50% (2,500kW ~ 3,500kW の低減に相当) であり、またマッハ数 1.0 以上の補助送風機を同時運転するマッハ数範囲では、同様に 36 ~ 47% (7,000kW ~ 7,800kW の低減に相当) である。このように風路変更と設備更新によって極めて大きな省エネルギー効果が得られたことが判る。

5.5 風洞運転パターンの一例

計測時間を 1 時間として新旧風洞の運転パターンを比較したのが図 5.5 である。

同図は、マッハ数 0.8 までは A モードで運転し、0.9 以上

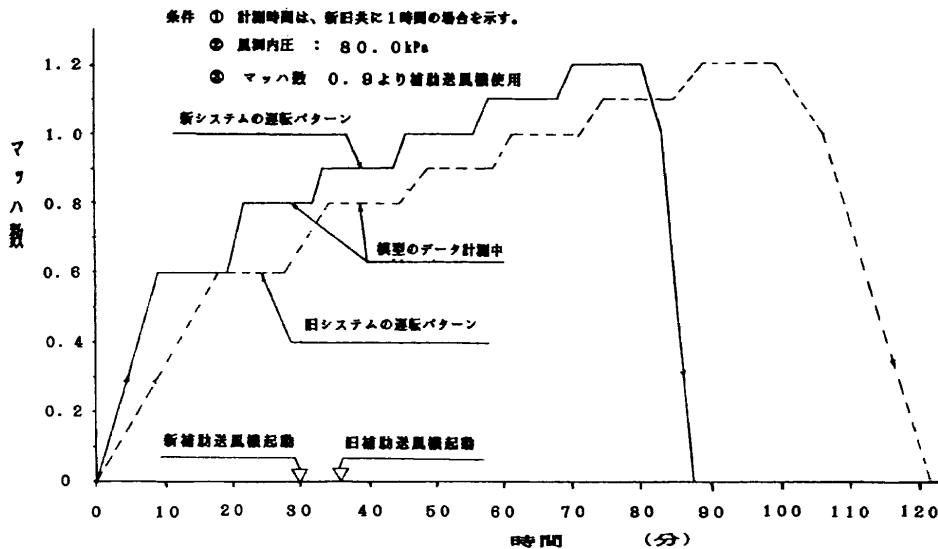


図 5.5 新旧の遷音速風洞運転パターンの一例 (補助送風機と帶動)

1.2まではBモードで運転したものである。1時間の計測時間に対して、運転時間全体が旧システムでは122分、新システムでは87分であり、35分間の短縮である。このことにより、旧システムと同じ風洞運転時間(122分)で運転したと仮定すれば新システムは、旧システムより計測時間が1.5倍増大し、試験データ量の生産性が向上する。

図中の▽は、補助送風機を起動するタイミングである。旧設備ではマッハ数0.9への設定開始に対して約12分も前に新設備より早く起動しなければならなかったが、新設備においては、抽気を必要とする約3分前に起動すれば良いことが判る。

6. むすび

送風系設備の更新にあたり、従来の遷音速風洞の運転経験から得られた風洞運転に対する送風系の改善点を洗い出し、それを更新時に反映させることによって風洞に整合した送風系設備を構築することができ、結果として、データ生産性の向上及び省エネルギー効果に寄与できた。

得られた成果の概略を以下に述べる。

(1) 主送風機設備

- 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) 70~710r.p.m.までの範囲内の任意の毎分回転数に短時間に設定できるようになったため、この時間を計測に充てることが可能となり、従ってデータの生産性が向上した。
- 3) 補助送風機設備との連係によりマッハ数0.1~1.4まで全自動運転が可能となった。
- 4) エキスパートシステムの考えに基づいた予測制御を導入することにより (FF項)、より早くマッハ数設定を行なうことが出来るようになり、データ生産性が向

上した。

FF項は、模型の形状や風洞試験条件に応じて決まるデータ (FF項) を整備することに依って益々高いマッハ数設定精度と速度が得られるので、今後、運用を重ねることに依って本システムはデータ生産性の一層の向上と電力の節減に寄与するものと考えらる。

- 5) 消費電力に関しては、図 5. 5 のように、マッハ数 0.4~0.9 において 2,500~3,500kW (風洞内圧 78.4kPa) の成果が得られた。
- 6) 運転制御システムの更新により、運転操作において全自動化が実現され、操作員の作業の繁雑さが大幅に軽減された。(ヒューマンエラーの防止にもつながる。)

(2) 補助送風機設備

- 1) 高速小型化によって、設備全体を単純化した。
- 2) 静翼角による制御で、マッハ数自動制御が容易になった。起動に要する時間が旧設備では約12分かかっていたのが新設備では約3分と大幅に短縮された。
- 3) 送風機の圧力比及び容量を実際の風洞から要求される値にマッチングさせたため圧力比の点では送風機のサージングに入る圧力比が高くなり、マッハ数1.4の設定において模型迎角を±18degに変化されても十分に設定が可能となった。又、容量の点からは消費電力が5,000kW以上低減され省エネルギー効果が得られた。
- 4) 運転関係も全自動化が実現され、操作員の作業の繁雑さが解消し、ヒューマンエラーの防止にもつながった。

今回遷音速風洞特別改修の一環として、送風系設備の更新を行なったが、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、遷音速風洞に携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、主送風機設備更新において、三菱電機株式会社及び補助送風機設備更新においては石川島播磨重工業株式会社の工事関係の方々には、御尽力を頂きました。又更新工事に際し、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及び遷音速風洞制御研究室、半沢麻雄主任研究官及び馬場滋夫主任研究官には甚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。

参考文献

- 1) 航空技術研究所：航空技術研究所 2 m × 2 m 遷音速風洞の計画と構造 航空技術研究所報告 TR-25、1962年3月
- 2) 鈴木正光、戸田亘洋、小松行夫、唐沢敏夫：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） 航空宇宙技術研究所 資料 TM-580、1988年2月
- 3) 唐沢敏夫、末永尚史、鈴木正光、小松行夫、戸田亘洋：2 m × 2 m 遷音速風洞用補助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 近刊
- 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変速駆動 東京電機大学出版局
- 5) 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 2 m × 2 m 遷音速風洞のマッハ数制御 航空宇宙技術研究所 資料 TM-551、1978年10月

航空宇宙技術研究所資料 656号

平成5年7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 セイコー社
東京都調布市西つつじヶ丘1丁目5番地15

Printed in Japan