

ISSN 0452-2982
UDC 533.6.07
681.3.02

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-638

電子式走査多点圧力センサー(ESP)を用いた 突風風洞圧力計測システム

藤田 敏美・岩崎 昭人

伊藤 婦美子・藤枝 郷俊

1991年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	2
2. 圧力計測システムの構成	2
2.1 データ収集・処理用計算機	2
2.2 ESP の概要	3
2.2.1 ESP の構造	6
2.2.2 ESP の制御	6
2.3 データ収集制御ユニット (DAAC) の概要	8
2.4 圧力較正ユニット (CALU) の概要	8
3. 圧力計測システムの配線, 配管系統	10
4. ESP の特性	10
4.1 特性試験方法	11
4.2 特性試験結果	12
4.3 風洞試験中の ESP の較正方法	14
5. 圧力測定例	14
5.1 模型および圧力測定試験内容	14
5.2 圧力測定方法	14
5.3 後流測定におけるページ機構	15
5.4 後流測定プログラム	17
5.5 データ収集の動作概要	17
5.5.1 ローカル・モード	17
5.5.2 ホスト・モード	20
5.6 試験終了後の処理	21
6. 後流測定試験時間の比較	21
6.1 試験条件	21
6.2 後流測定試験時間の比較結果	22
7. まとめ	24
8. 参考文献	24

電子式走査多点圧力センサー(ESP)を用いた 突風風洞圧力計測システム*

藤田 敏 美^{*1} 岩崎 昭 人^{*1}

伊藤 婦美子^{*1} 藤枝 郷 俊^{*1}

A Pressure Measurement Method Using Electronically Scanner Pressure Sensors (ESP) Installed in a Gust wind Tunnel

Toshimi FUJITA^{*1}, Akihito IWASAKI^{*1}, Fumiko ITO^{*1}
and Hirotoshi FUJIEDA^{*1}

ABSTRACT

Electronically scanner pressure sensors (ESP) were installed at various data acquisition locations in a Gust Wind Tunnel in order to obtain pressure measurements at high speeds.

However, changes in the environmental conditions, particularly flow temperature, resulted in the sensors displaying a span and zero shift, thus making them difficult to use in a long run wind tunnel tests. Experiments were subsequently performed to solve these problems, and a method was established which assured they maintain their required measurement accuracy.

This method utilized the established ESP system and efficiently reduced data acquisition requirements. In the case of a Short Take-off and Landing (STOL) aircraft Semi-Span Model, the time required for wake measurements was reduced by $\approx 92\%$, i.e., the test took only 1 hr versus 1-1/2 days using the previous method.

Both the newly developed method and the currently used high speed pressure measuring system using ESP sensors are described.

Keywords: Gust Wind Tunnel, Data acquisition system, ESP, Pressure measurement system

概要

当所の突風風洞では、昭和62年度に新規計算機 (ECLIPSE MV/7800XP) を導入し、データ処理装置の改修を行い 6 分力測定とデータ処理のオンライン化を図った。その概要については文献 2 に報告した。

今回は圧力測定の高速化の為に、電子式走査多点圧力センサー (Electronically Scanner Pressure Sensors ; ESP) を導入した。そして連続式風洞における試験で懸念される ESP の環境状態変化による影響に対しては、既知のモニタ圧力を用いた較正手段を開発した。これ

* 平成 3 年 4 月 9 日受付 (received 9 April 1991)

*1 新型航空機研究グループ (Advanced Aircraft Research Group)

により連続式風洞における ESP を用いた高速圧力計測システムを確立した。

この圧力計測システムによる STOL 半截機模型の後流測定試験の場合では、従来のスキャニバルブを用いた圧力測定と比べ測定時間が約 1/13 に短縮された。この結果、1 日半の風洞試験が 1 時間で終了するなど、圧力測定の高速化と風洞試験の効率的運用を実現した。その概要を報告する。

1. まえがき

航空宇宙技術研究所突風風洞¹⁾は、昭和47年に完成して以来、現在に至るまで所内外の多数の試験研究に利用されてきた。その内容は主に外挿式天秤による 6 分力測定とスキャニバルブによる圧力測定であった。

航空機設計の進展にともない、風洞試験においても実験用模型の高性能化や精密化が進み、風洞試験内容の多様化と高度化が要求されている。これらの要求に対して当風洞は、昭和62年度に計算機 (ECLIPSE MV/7800XP) を導入し、データ処理装置の改修を行い 6 分力測定のオンライン化を図った。その概要については既に報告した²⁾。

近年における当風洞の圧力測定試験としては、エンジン・シミュレータを搭載した STOL 半截模型や各種模型の表面圧力および 5 孔ピトー管による後流測定を行っている。後流測定では測定断面が広く、測定点数が非常に多いため、従来のスキャニバルブによる方法では、圧力測定に長時間を要する。特に STOL 半截模型の試験ではエンジンを駆動させる高圧空気の使用量が多く、空気源容量の点から 1 回の試験時間に制約を受けるため圧力測定の高速化が求められていた。

今回、当風洞ではこの圧力測定の高速化に対応するための手段として、吹出式遷音速風洞の圧力測定の高速化で実績のある電子式走査多点圧力センサー (Electronically Scanner Pressure Sensors ; 以後 ESP と称す)³⁾ を用いることとした。

今回の ESP による圧力計測システムの設計、製作に当たっては、ESP の機能を最大限に活用するためと、圧力計測システムの製作を容易にするために、ESP とともに ESP 制御装置を導入した。これらの装置を当風洞のデータ処理用計算機に組み込んで圧力測定の高速化を確立した。

この新たな圧力センサー ESP を用いた圧力計測システムの実用試験では、圧力測定の高速化に非常に良い成果を収めた。本報告では本圧力計測システムの概要について述べる。

2. 圧力計測システムの構成

圧力計測システムは大別すると図 1 に示すようにデータ収集・処理用計算機 (ECLIPSE MV/7800XP), ESP (スキャニバルブ社、製品名 ZOC22/32 Px × 2) のセンサー部および ESP 制御装置から構成されている。図 2 に ESP 制御装置の外観を示す。

さらに ESP 制御装置は、①データ収集制御ユニット (DATA ACQUISITION AVERAGING AND CONTROL UNIT ; DAAC), ②圧力較正ユニット (CALIBRATION UNIT ; CALU), ③アナログ入力ユニット (ANALOG INPUT UNIT ; AIU), ④ CRT TERMINAL から構成されている。表 1 に ESP, DAAC および CALU の仕様を示す。

本システムでは、ESP 制御装置のデータ収集制御ユニット (DAAC) とデータ収集用計算機は GP-IB インターフェースによって接続されている。これにより 6 分力測定試験の場合と同様に、ESP 制御装置の制御、測定条件の設定および圧力測定等プログラムを FORTRAN77 言語で容易に作成できるとともに、それを風洞試験の測定プログラムに組み込み、データ収集用計算機の管理のもとで同プログラムを実行することができる。

2.1 データ収集・処理用計算機

突風風洞では昭和62年度にデータ収集部、平成元年度にデータ処理部が各々更新された。そのデータ収集・処理用計算機 (ECLIPSE MV/7800XP) の外観を図 3 に、そのハード・ウェア構成を図 4 に示す。

この収集用計算機は高速 GP-IB インターフェー

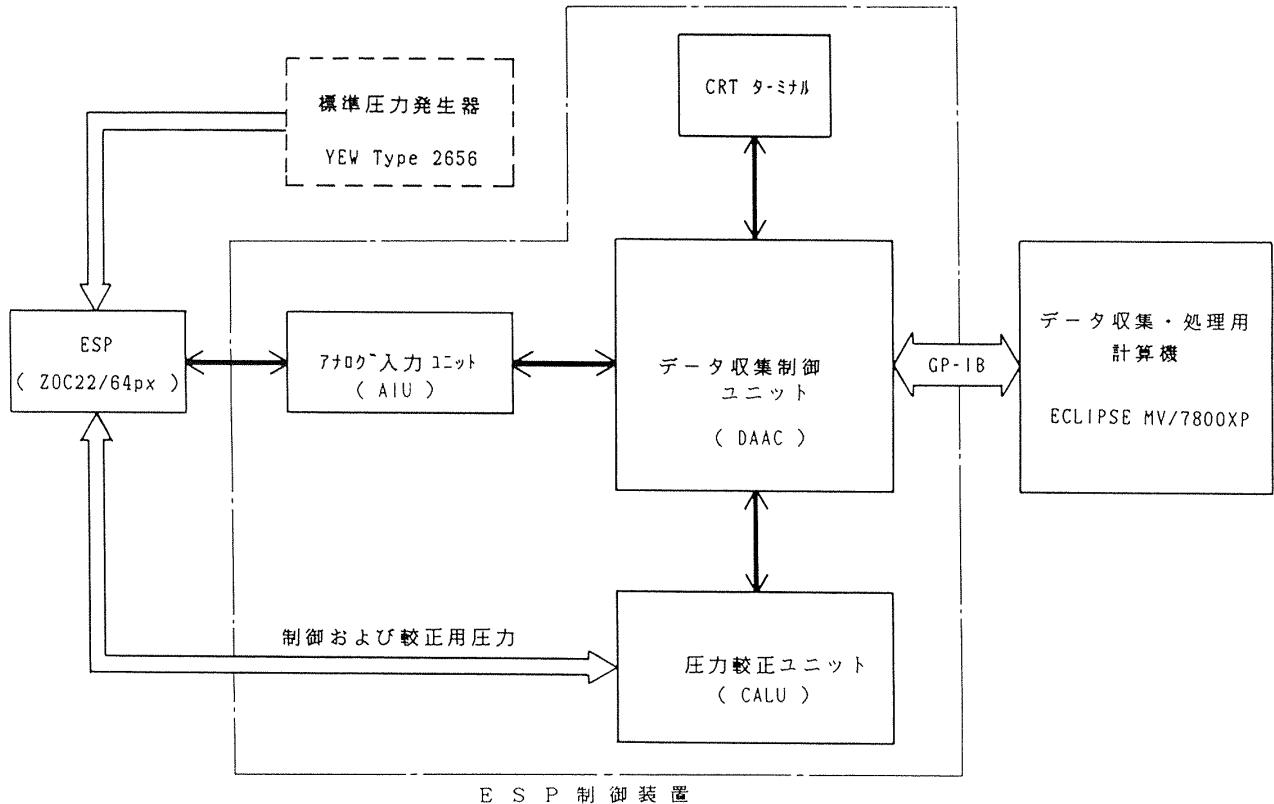


図1 圧力計測システムの構成



図2 ESP制御装置

スとVMEbusの各種入出力装置を有し、風洞試験における6分力測定と風洞パラメータの収集はVMEbusを用いて行っている²⁾。

圧力測定試験におけるデータ収集は、計算機側から高速GP-IBインターフェース⁴⁾を用いてESP制御装置を制御して行う。また後流測定試験の場合には、同インターフェースを用いてトラバース装置の制御も行っている。

2.2 ESPの概要⁵⁾

当風洞がESPの機種を選ぶにあたっては、模型内に設置するため小型であること、測定圧入力点数が多数必要であることを考慮して、スキャニバルブ社のESP(ZOC22/32Px×2)に決定した。その外観を図5に示す。

ESPが従来のスキャニバルブと異なる点は、スキャニバルブが多数の測定圧力を円板状のロータをまわして、共通の1個の圧力変換器へ導く機械的なスキャンにより測定を行うのに対して、ESPでは各ポート毎にシリコン半導体を利用した圧力変換器が用いられており、各ポートの出力を電気

表1 ESP, DAAC および CALU の仕様

ユニット名	仕 様	
E S P Z0C22/32Px×2	Range	7KPa (1psid)
	Accuracy Including Linearity, hysteresis, and repeatability	± 0.08% F.S.
	Sensor Addressing	5 bit binary
	Signal Output	± 2.5 Vdc
	Scan Rate	20 KHz
	Operating Temperature	0° ~ 60°C
	Temperature Sensitivity	Zero 0.1%FS/°C Span 0.05%FS/°C
D A A C	Input Capacity	2048 port maximum
	Scan Rate	50,000 port/second
	Memory	256 Kbytes
	CPU	Zilog Z8000
	Interface Available	RS-232C or GP-IB
	Overall System Accuracy	± 0.1%FS
C A L U	Range	0 ~ 5KPa (0 ~ 34psid)
	Pressure Standard Accuracy	± 0.002%FS
	Transient Response	0.8 second
	Stand Alone version Interface	RS-232C

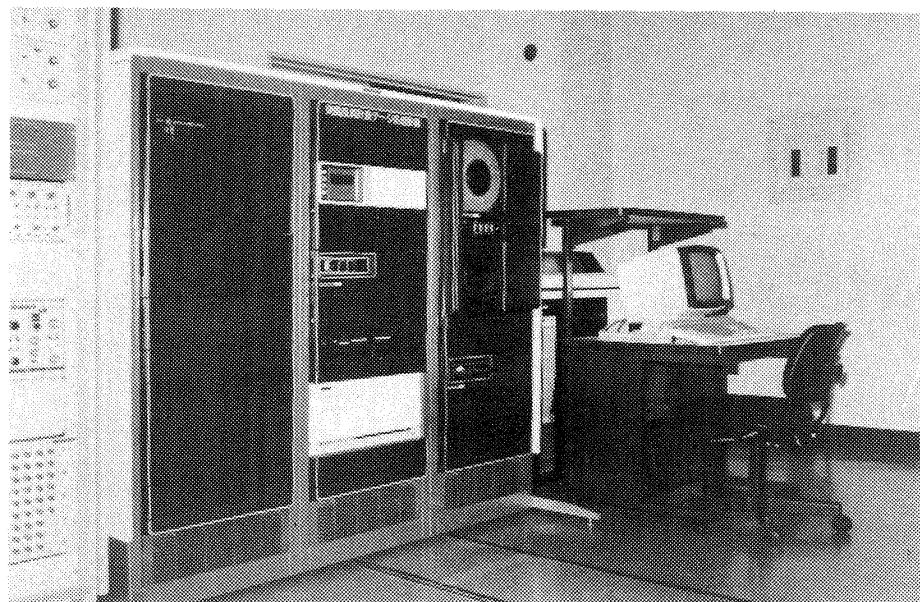


図3 データ収集・処理用計算機 (ECLIPSE MV/7800XP)

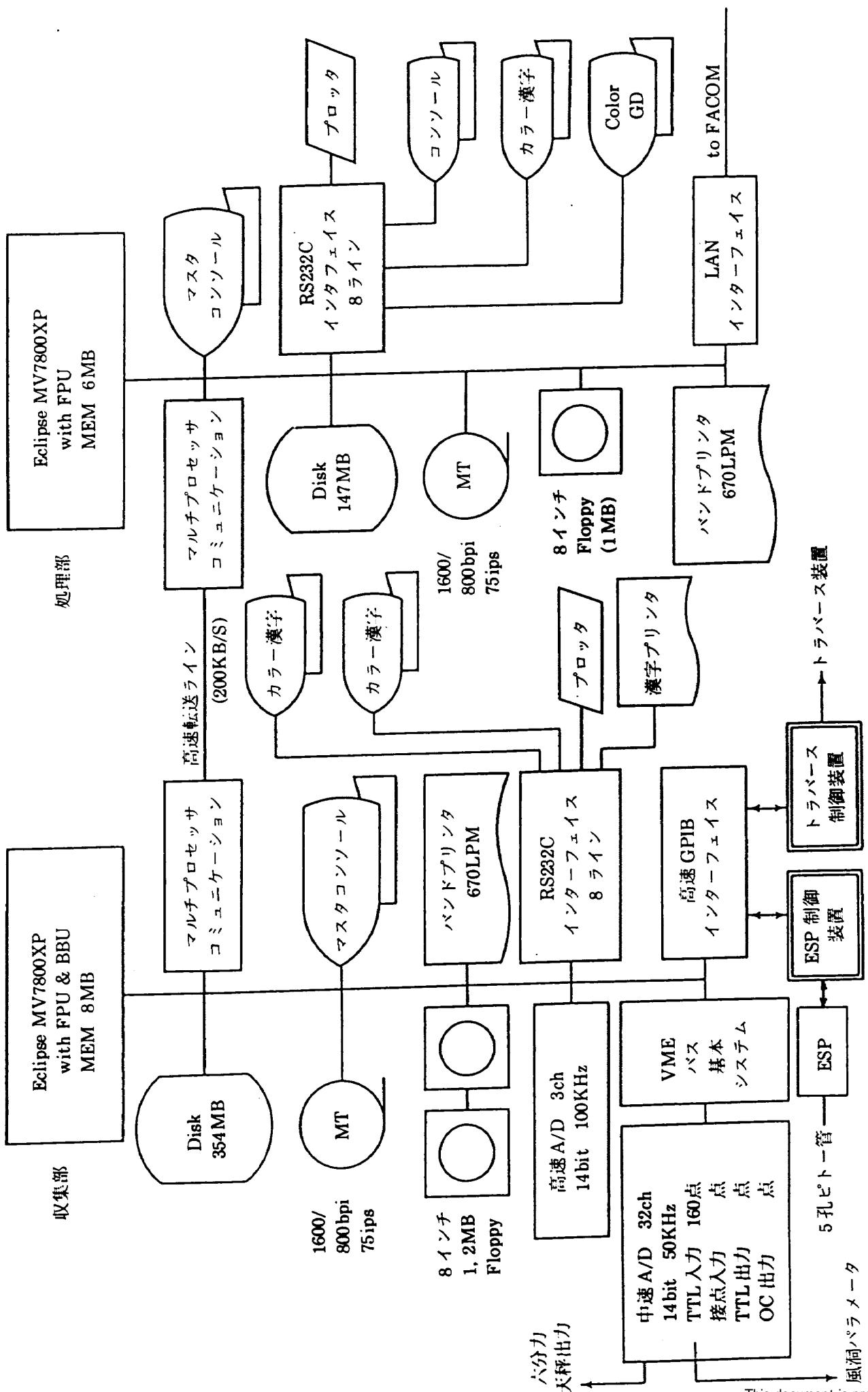


図4 データ収集・処理用計算機のハード・ウェア構成

的スキャンにより計測することである。このため ESP はデジタル・アドレス番号の付いたアナログマルチプレクサ回路を有している³⁾。

このように ESP は各ポート毎に圧力変換器を組み込むことによって、文献 3 に述べたように、ポート切り換えによる圧力変換器の応答時間を約 10 μsec とし、その出力を電気的スキャンさせることにより、圧力測定の高速化が実現できる。

ESP の圧力変換器に使用されているシリコン半導体圧力センサは、シリコン単結晶で作ったダイヤフラム上にピエゾ抵抗素子を拡散形成し、その抵抗変化から加えた圧力を検知するものである。この方式の圧力変換器は、小型で高感度のものが得られるがピエゾ抵抗素子は、金属ひずみゲージ

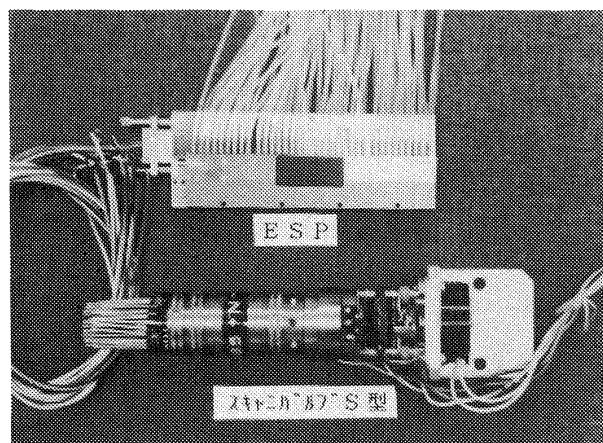


図 5 ESP 外観

に比べてゲージ率が 50 倍以上あり高感度である反面、温度係数が大きく半導体圧力センサを実用化するうえでの課題となっている⁶⁾。そこで、ESP では圧力変換器の出力の温度による零点およびスパンの変化等を随時較正を行うことにより、修正しうる構造になっている。

2.2.1 ESP の構造

ESP (ZOC22/32Px × 2) の形状寸法を図 6 に、その内部構造を図 7 に示す。ESP は①測定圧力入力孔 PXA, ②測定圧力入力孔 PXB, ③較正圧力入力孔, ④リファレンス圧力入力孔, ⑤圧力変換器, ⑥アンプ & マルチプレクサ, ⑦モード切り換え用制御弁と入力切り換え部から構成されている。

この ESP (ZOC22/32Px × 2) は PXA (32 点) モード, PXB (32 点) モードの測定圧力入力孔をもち、モード切り換え用制御弁を操作して、共通の圧力変換器へ測定圧力を導くことにより、1 モジュールで合計 64 点の圧力測定が可能である。

2.2.2 ESP の制御

ESP は測定モード PXA, PXB と較正モードおよびその他のモード設定が可能である。

そのモード選択は図 7 に示す ESP に内蔵されたモード切り換え用の各制御用弁を操作し、操作空気圧 (445 KPa) を制御してモード切り換え用ピス

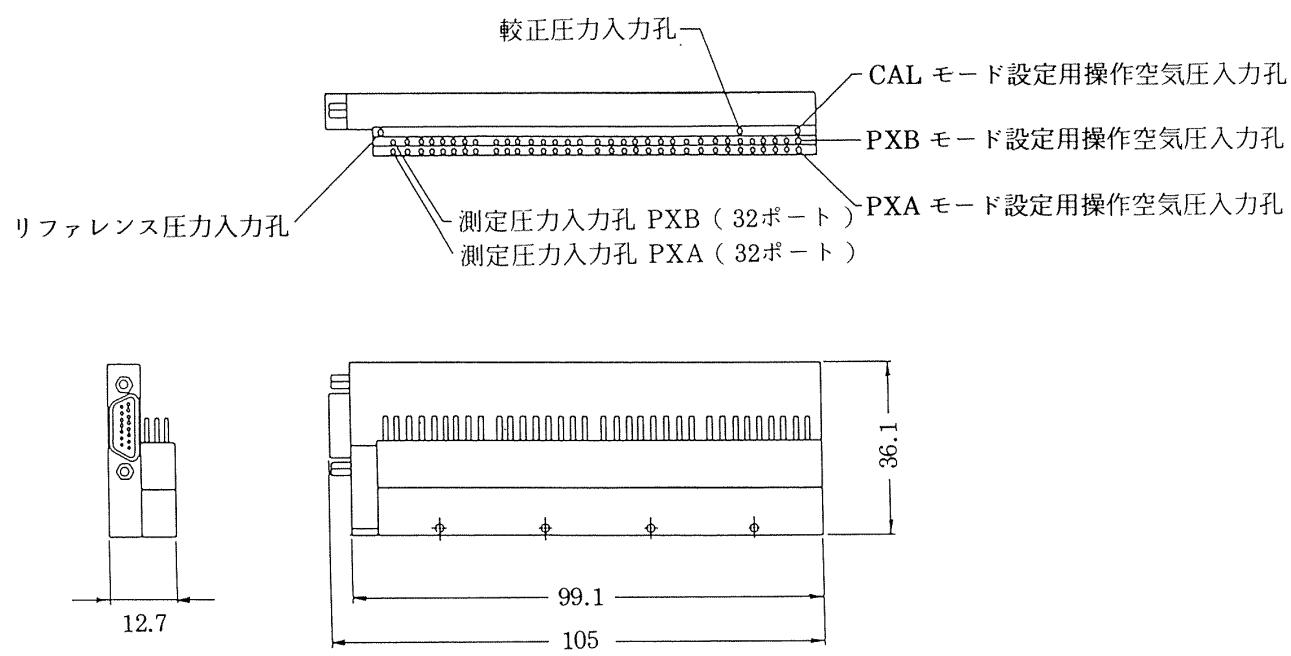


図 6 ESP の形状

トンを駆動させて行う。それら各モードの設定と操作空気圧の関係は図8に示す通りである。

(1) パージモード(図8-1)

パージモードは、ESP内部で全ての測定圧力入力孔、較正圧力入力孔および圧力変換器が短絡している状態である。これにより較正圧力を利用して多数のラインパージを行う方法であり、水分や油分のパージはできず、ガス成分等軽い物をこのパージ方法によって排出することができる。この

時、圧力変換器を破壊しないように、測定孔から高い圧力が加わらないよう注意が必要である。

(2) PXAモード(図8-2)

PXAモードは、図6に示したPXA側の測定圧力入力孔と圧力変換器のみが短絡している状態である。

(3) PXBモード(図8-3)

PXBモードは、PXB側の測定圧力入力孔と圧力変換器のみが短絡している状態である。

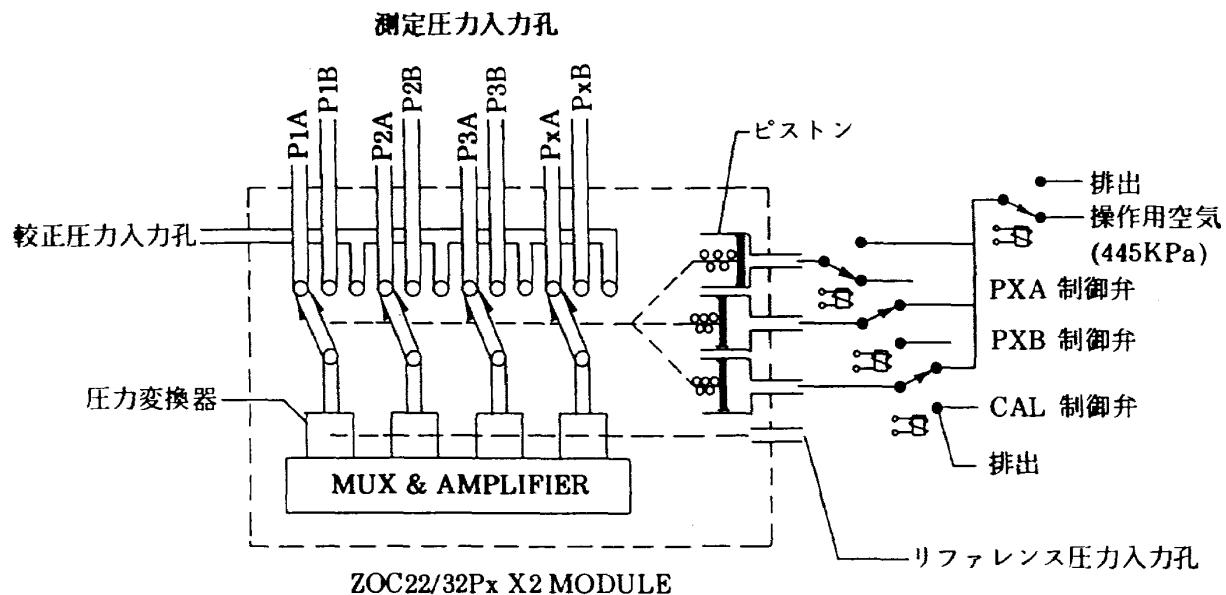
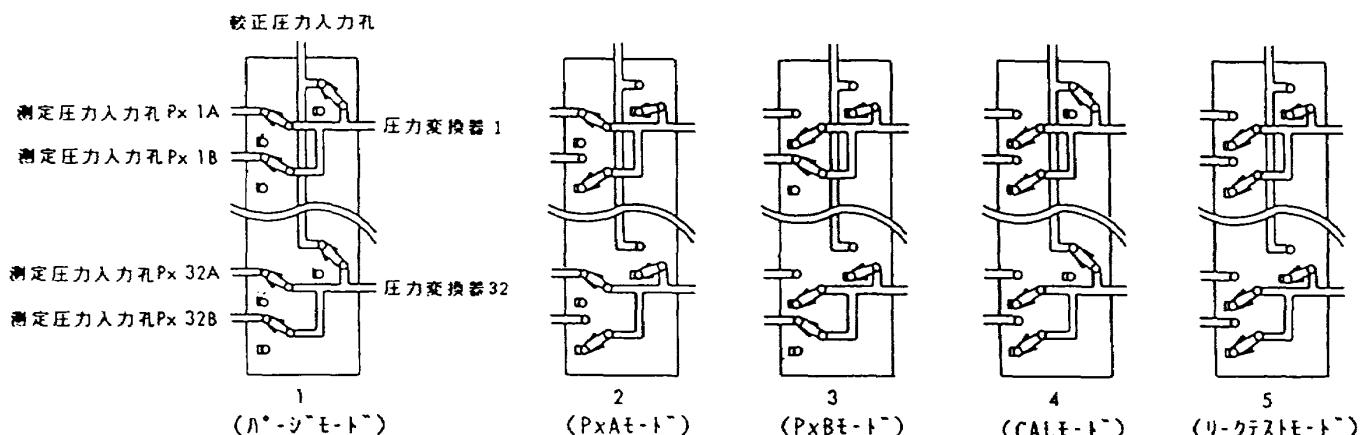


図7 ESPの内部構造



MODE	DESCRIPTION	CONTROL PRESSURE APPLIED		
		Px A CTRL	Px B CTRL	CAL CT
1	SHORT ALL CHANNELS TO CAL MANIFOLD (PURGE)			
2	DIVERT INPUT Px A TO SENSORS AND ISOLATE Px B & CAL MANIFOLD		X	X
3	DIVERT INPUT Px B TO SENSORS AND ISOLATE Px A & CAL MANIFOLD	X		X
4	DIVERT CAL PRESSURE TO SENSORS AND ISOLATE INPUT Px A & B	X	X	
5	ISOLATE CAL PRESSURE AND INPUT Px A & B (LEAK TEST)	X	X	X

図8 制御圧力とESPのモード

(4) CAL モード (図 8-4)

CAL モードは、較正圧力入力孔と圧力変換器のみが短絡している状態である。

(5) リークテストモード(図8-5)

リーコテストモードは、ESP内部の各入力孔と変換器間が遮断された状態であり、模型とESP間の配管の漏れチェックを行う場合に設定する。

これらESPに対する一連の制御は、ESP制御装置のデータ収集制御ユニット(DAAC)に対して、ESP制御装置のCRTターミナルやデータ収集用計算機(ソフトウェア)から各種のコマンドを入力することによって容易に行うことができる。

2.3 データ収集制御ユニット(DAAC)の概要

DAACの内部構成を図9に示す。DAACは①中央処理ユニット(Zilog Z8000), ②アドレス発生器, ③マルチプレクサ, ④A/D変換器(符号+14bit), ⑤メモリー(256Kbytes), ⑥各インターフェースによって構成されている。

DAACはESP制御装置の主制御部であり、ESPと圧力較正ユニットを制御する。

CRT ターミナルによるローカル・モード（手動）

による操作)およびデータ収集用計算機によるホスト・モード(プログラムによる操作)の両モードにおいて、ESPのセンサーとポートアドレスを指定し、センサーからのアナログ出力値をデジタル値に変換する。次にそのデータの零点の補正、平均化等を行い、各較正係数を使用して圧力値(KPa)に変換してCRTに表示することと、GP-IB(またはRS232C)を通してデータ収集用計算機にデータ伝送を行う。

また、圧力較正ユニットの制御ではESPの圧力変換器の較正を行った後に、較正係数のデータの格納も行う。表2にDAACコマンドリストを示す。

2.4 圧力較正ユニット(CALU)の概要

CALU は ESP の圧力変換器の較正を行うユニットである。CALU の内部構成を図10に示す。CALU は DAAC とは RS232C で接続されており、DAAC を通して制御される。この CALU には水晶式の二次基準圧力センサー（絶対圧型）が内臓されており、外部からシステム・リファレンス圧力と約630KPa の操作空気とを受けて、ESP の圧力変換器のレンジ内の任意の圧力 3 点 (LOW,

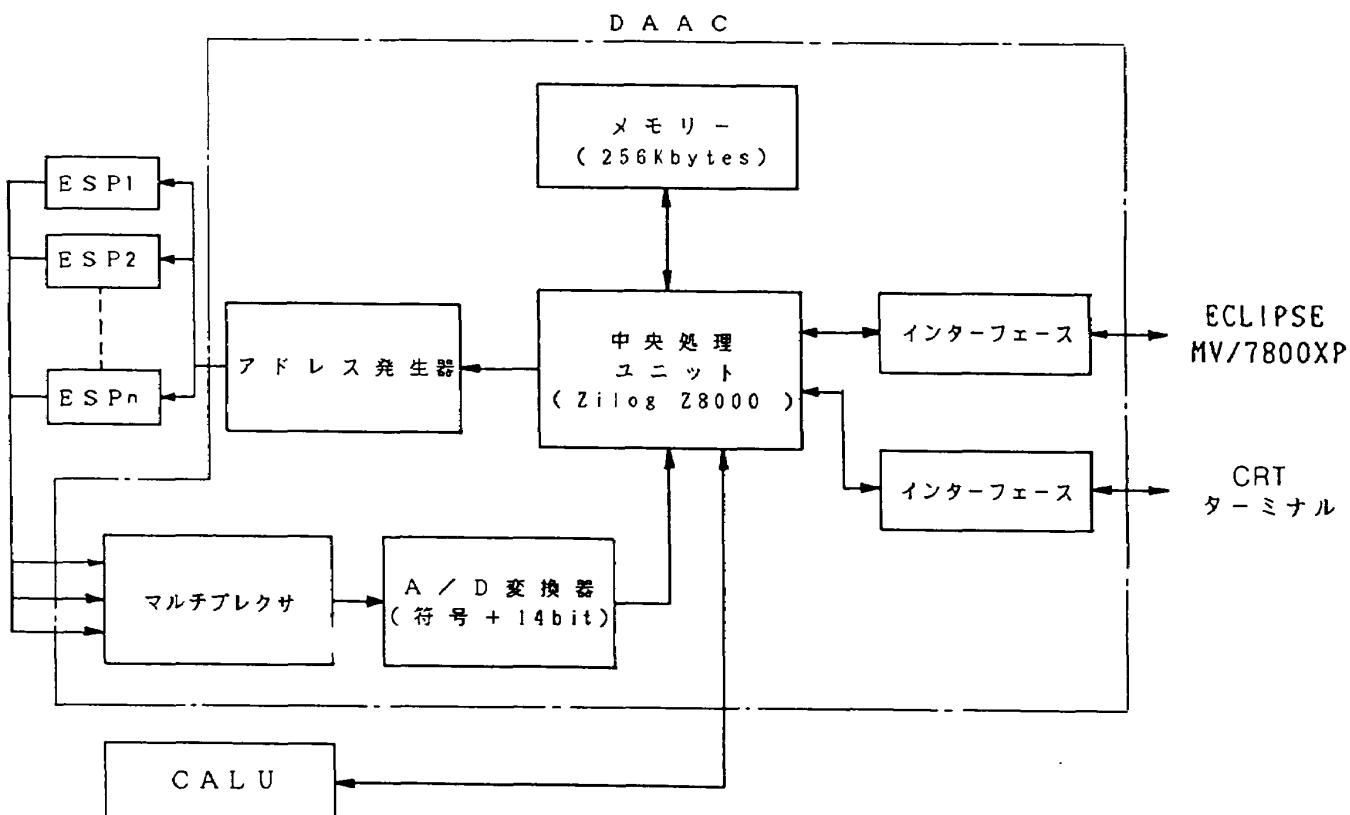


図9 DAACの内部構成

表2 DAAC コマンドリスト

Command Mnemonic	Command	Parameters Explanation	Valid Low Priority Operator when Memory Mode is:	
			SHAR	EXCL
AC n X	Active Channel	Chan #: Y or N or omit	Y	N
Ca nn	Calibrate All	Readings/average	N	N
CC	Calibration Coefficients		Y	Y
CD nn	Calibrate Data	Number of Data Areas	N	N
CN	Calibrate Negative	Readings/average	N	N
CP nn	Calibrate Positive	Readings/average	N	N
CZ nn X X	Calibrate Zero	Readings/average P,N,B:F or omit	N	N
EC nn n X	Energize Closure	Circuit: Cal #:Y or N	Y	N
HM XXXX	Host Mode	Password	Y	Y
IC n	Initialize Cal Unit	Calibration Unit No.	N	N
LD	Load Down		N	N
LM XXXX	Local Mode	Password	Y	Y
LU	Load Up		N	N
MH	Monitor Host		Y	Y
ND	Number of Data Area			
NT nn n	Noise Test	Readings/ave.: data scans	Y	N
RC nn n	Read Calibrated	Readings/ave.: data scans	Y	N
RP n	Read Pressure	Cal Unit #	Y	Y
RR nn n	Read Raw	Readings/ave.: data scans	Y	N
RS nn n	Read Stable	Readings/ave.: data scans	Y	N
RZ nn n	Read Zero	Readings/ave.: data scans	Y	N
SC n X	Single Channel	Chan #: Y or N	Y	N
SP XX XXXX	Set Parameter			
SU	Set Up			
TD nn	Transmit Data	Number of Data Area	Y	Y
UC	Unstable Channels			

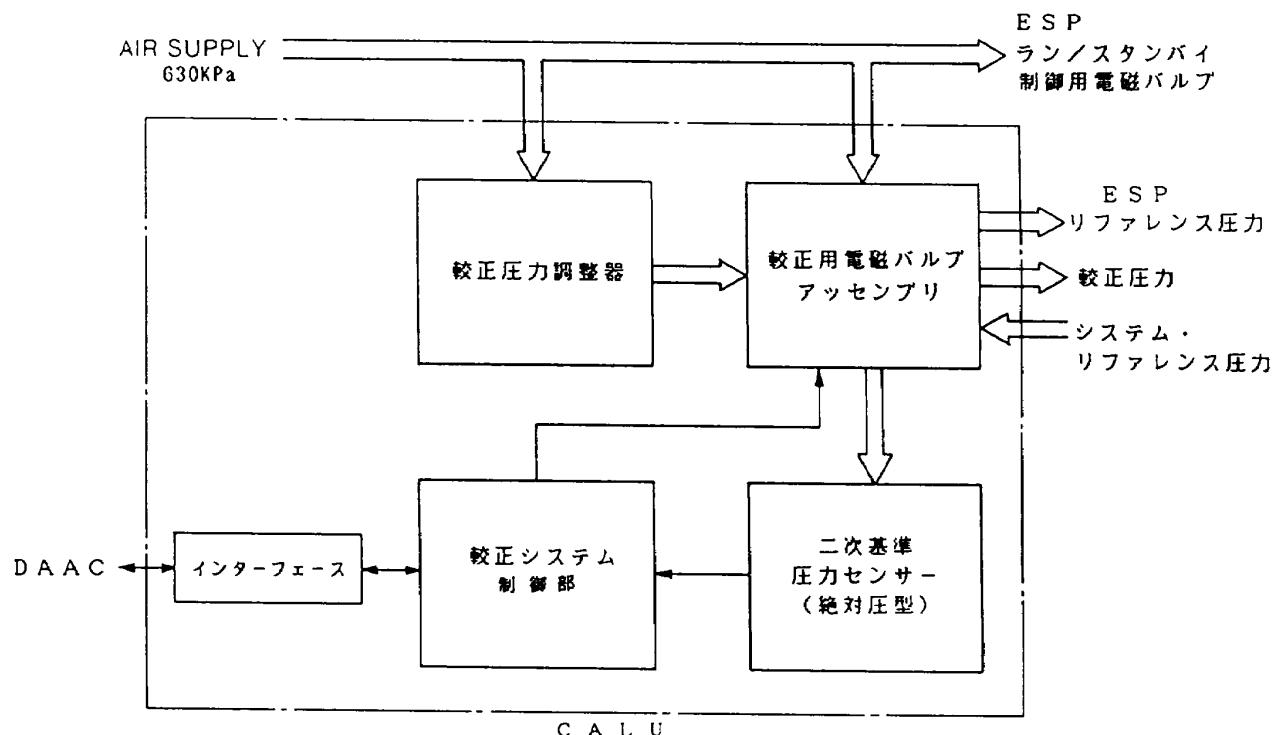


図10 CALUの内部構成

MID, FULL)を設定する。CALUはこの圧力を校正圧力として供給し、7点校正(+FULL, +MID, +LOW, ZERO, -LOW, -MID, -FULL)を行い、最小二乗法を適用して各ポートの圧力変換器の校正係数を求め、この校正により得られた各係数はDAACのメモリーに格納する。

CALUに供給する空気は不活性、ノンオイルでフィルターは50ミクロン以下の品質が要求される。また、校正中は供給空気圧力が変動しないことが重要である。

3. 圧力計測システムの配線、配管系統

図11に本圧力計測システムの配線、配管の系統を示す。

まず配線系統(実線の矢印)では、DAACを中心として、計算機とのGP-IBケーブルを始め各ユニット間との制御用、入力用および電源ケーブルが配線されている。

次に、各操作空気の配管系統(破線の矢印)では、第一に供給空気は乾燥空気(不活性ガス)で安定した圧力を有することが重要となる。これは配管途中で内部に結露が生じないためと、供給圧

の変動がESPの校正においてエラーの原因となるのを防ぐためである。もし、校正中に安定した圧力が供給されない場合には、DAACはESPの校正動作を停止し、CRTに“UP(Unstable Pressure)”のエラーメッセージを表示する。このため、当風洞では新たに圧縮機とエアードライヤーを設置し、各ユニットへ必要な空気圧を設定するための精密減圧弁を設けた。図12に圧縮機とエアードライヤーを示す。

これらの配線、配管が従来のスキャニバルブによる圧力計測と比べて複雑化している。これはデータ収集用計算機とセンサー間に各種ユニットを有し、それらの制御等に空気圧を用いているためである。

4. ESPの特性

ESPの基本的な出力特性は文献3に報告しているが、当風洞のように連続的に通風して風洞試験を行う場合には、ESPの圧力変換器が環境変化の影響を受けるため、隨時校正を行う必要がある。この場合、校正の時機をどのようにして決定するかが問題となる。

そのため我々は、ESPの時間経過と設置場所の

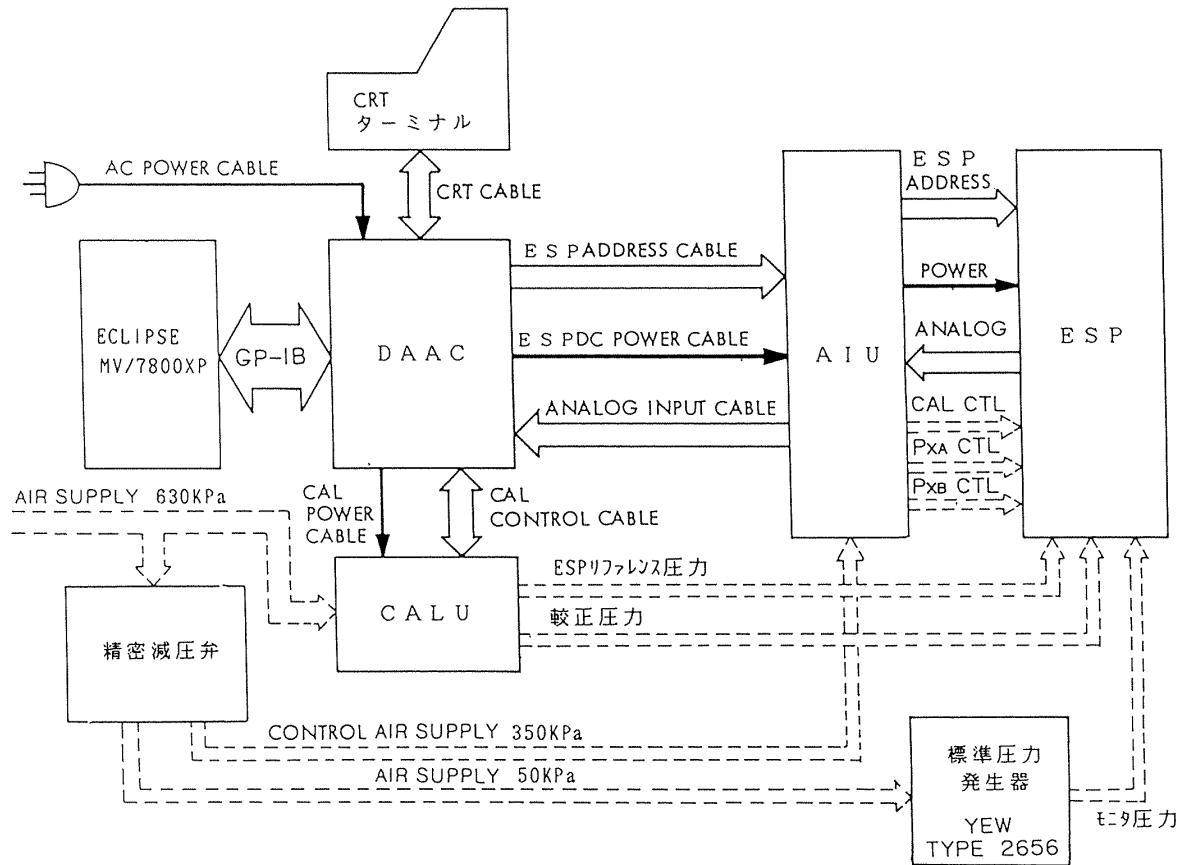


図11 圧力計測システムの配線、配管系統

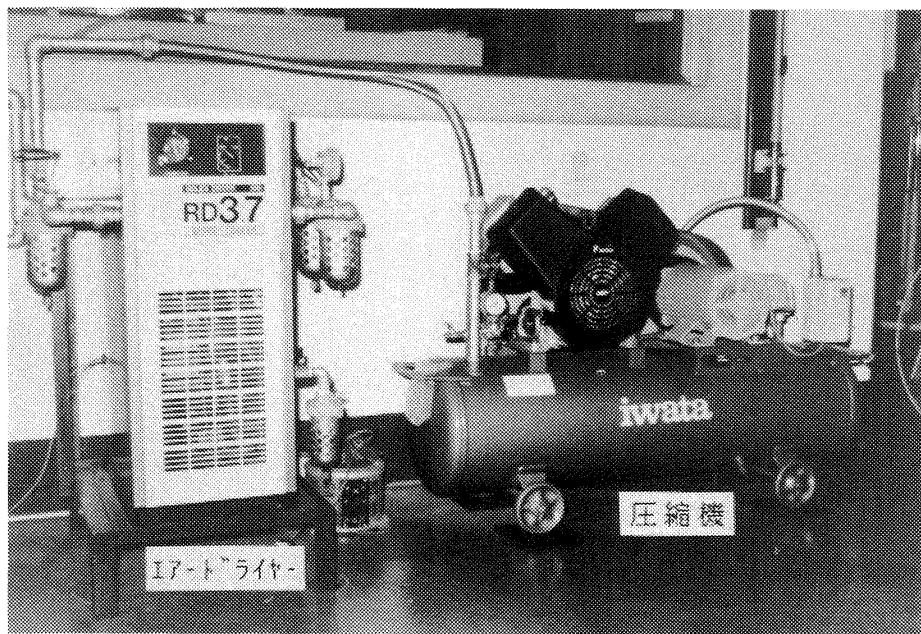


図12 圧縮機とエアードライヤー

環境変化による出力変化を調べ、その結果を基に当風洞における最適な圧力較正方法を決定した。

4.1 特性試験方法

この試験方法における圧力計測システムのセン

サー、計測・制御系統の各配線、配管状態は、実際に風洞試験に用いられる場合と同じである。ESPの出力特性試験では、先ず圧力計測システムを立ち上げ、30分のウォームアップ時間³⁾を経た後に、ESPの各ポートに標準圧力発生器(YEW

TYPE 2656) を用いて既知の一定圧力(モニタ圧力)を加圧し、ESPの較正を行う。この加圧状態の下で、較正終了直後からの各ポートの圧力を一定時間間隔で測定収集した。この試験では圧力のほかに風洞内のトラバース装置に取り付けたESP本体の温度、設置箇所の環境温度および風洞気流温度も測定した。尚、その測定条件は無風時、風速=30m/s および風速=45m/s の三つの場合について実施した。

4.2 特性試験結果

本特性試験で得られた ESP の出力特性の結果を図13～15に示す。各図の上部は風洞気流温度、ESP設置箇所の環境温度およびESP本体の温度を示し、下部はESPのモニタ圧力設定値に対する各測定値との差をセンサーレンジの百分率で示している。この場合、ESPの各センサーはそれぞれ固有の特性を有する。ここでは、その出力傾向を見るためにモニタ圧力の設定値と測定値の差が最小

(○印)、最大(△印)のセンサーの結果を用いて示した。これらの結果を見ると、無風時(図13)では気流、環境温度は一定で、ESP 温度もほぼ一定の値を示している。同様に ESP の較正後の出力値は変化も少なく、測定精度の一つの目安としている±0.15% FS (センサーレンジ 7KPa の時±10 Pa) 内の精度は約20分間維持出来る。これに対して風速=30m/sの場合(図14)では、それぞれの温度は同じ傾向で上昇しているが、その変化量は小さい。しかし、ESP 出力値は約11分過ぎから±0.15% FS 内の精度を越えている。そして風速=45m/sの場合(図15)では、温度変化も大きく、ESP 出力値も約4分で±0.15% FS の精度を越える。

この結果から、ESP の出力は気流温度によって変化し、その変化の状態は気流速度などの環境状態にも大きく依存する。このため、ESP の較正時機を予測することは難しい。また、一定時間の間隔で較正を行う方法は適当でないことが判った。尚、風速が高い場合には温度変化も大きく、較正

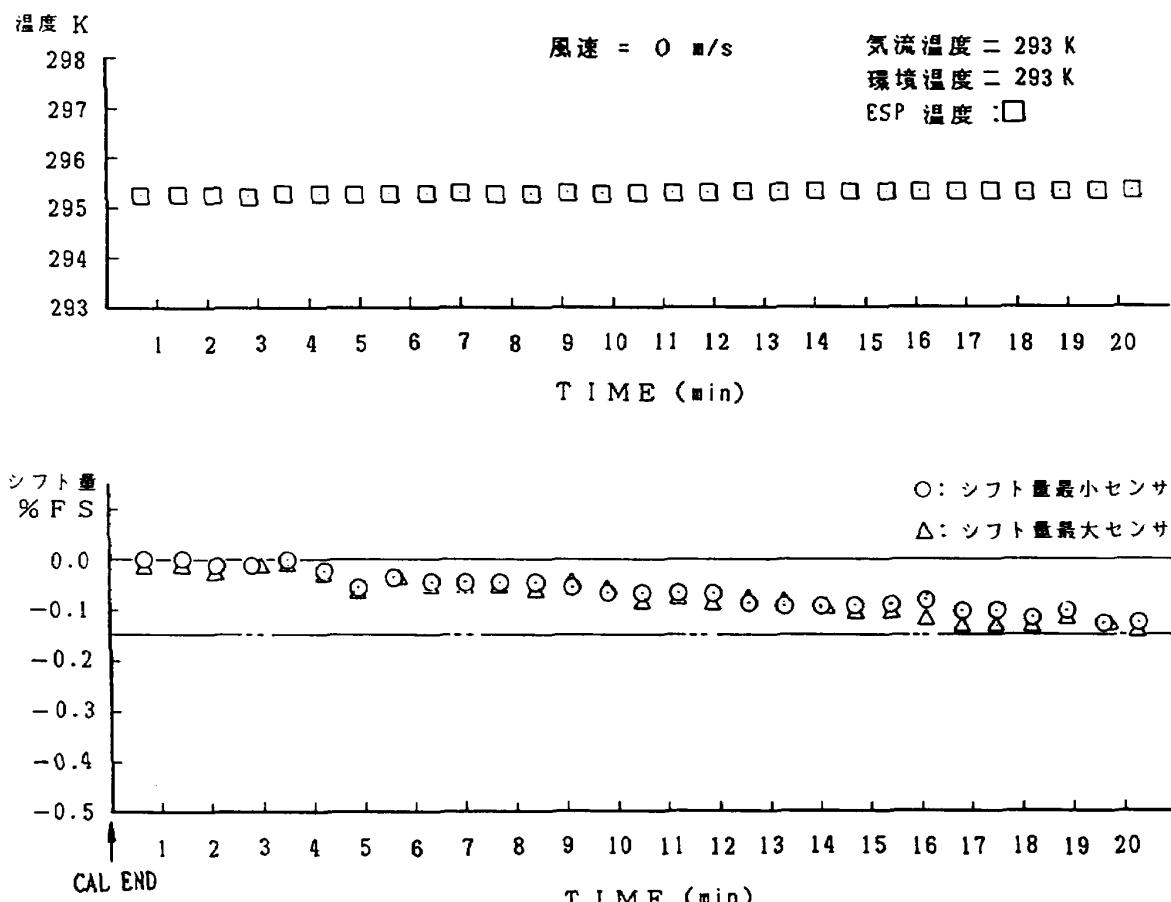
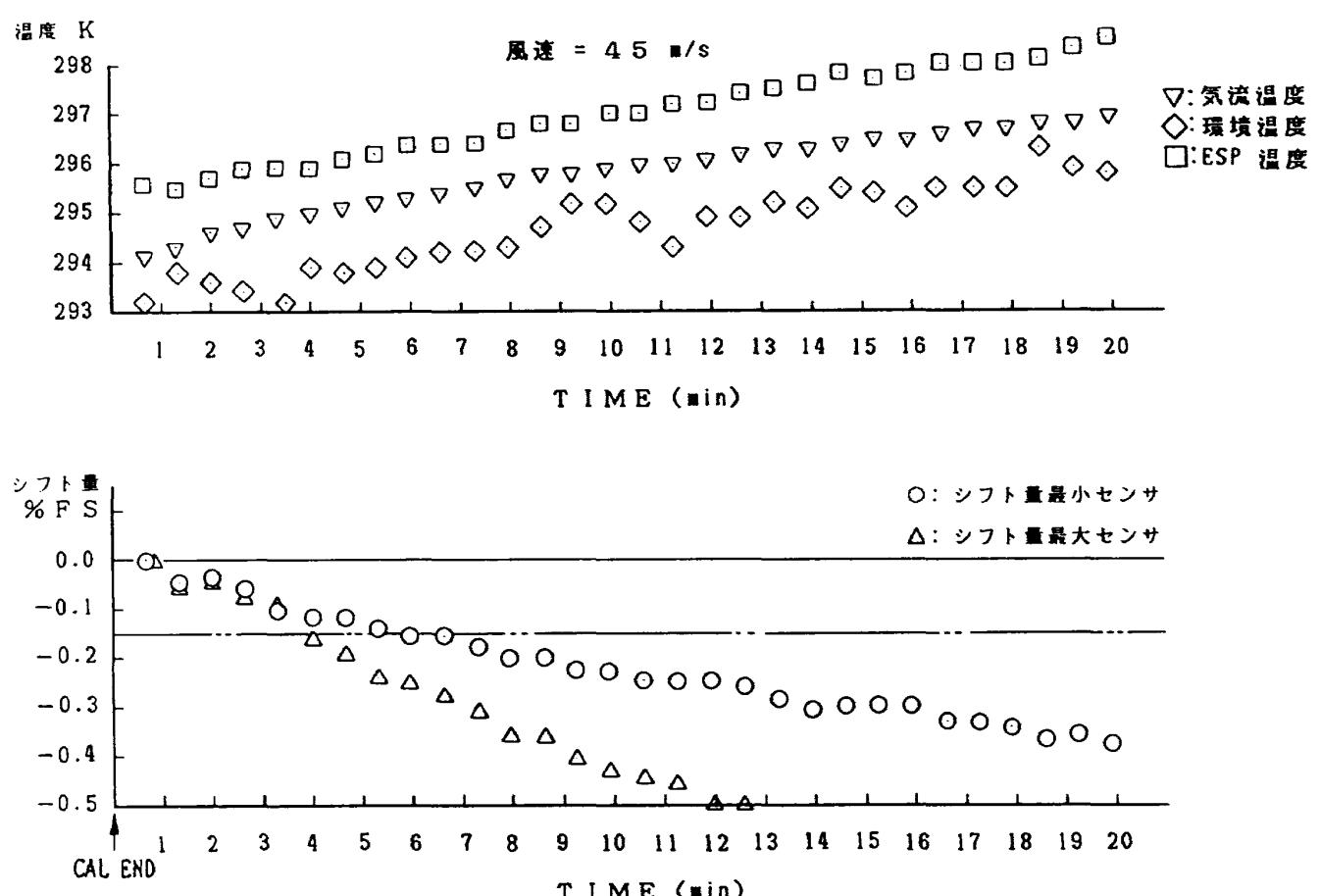
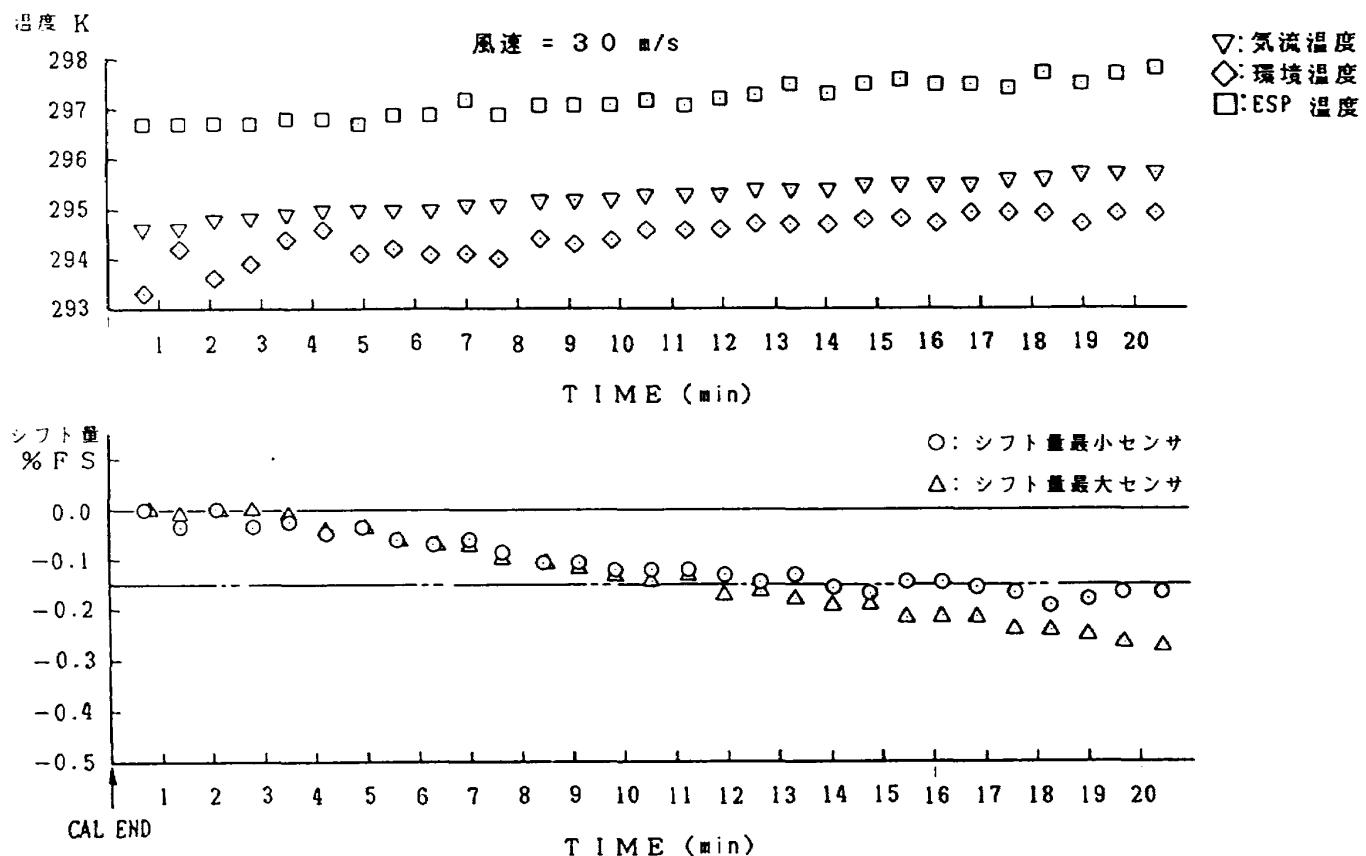


図13 ESP の出力特性(1)



頻度が高くなることが考えられる。従って、各較正の間隔を長くし、その回数を減らすなど、較正のための時間を少なくすることがESPによる圧力測定の高速化の上からも必要である。このためにはヒーター・ジャケットなどを用いてESP温度を一定に保つなどの方法を考慮する必要がある。

4.3 風洞試験中の ESP の較正方法

前記の出力特性の試験結果から、ESPの出力は気流温度によって変化し、その変化の状態は気流速度などの環境状態にも大きく依存する。このため、ESPの較正時機を予測することは難しく、一定時間の間隔で較正を行う方法は適当でないことが判った。

このため、我々はこの問題を解決する手段として、風洞試験中は標準圧力発生器（YEW TYPE 2656 精度±0.05%FS）を用い、ESPの代表的なポート数点に既知の圧力をモニタ圧力として常時加圧しておき、他の圧力データとともに測定収集する。この方法は、ESPのフルレンジに近いモニタ圧力を用いることにより、各ポートの圧力変換器の温度による感度（零点、スパン）変化を知ることができる。そしてこのモニタ圧力の測定値が、次回の測定では±0.15%FS（センサーレンジ7KPaの時±10Pa）以上になると判断した時点で、ESPの較正を行う方法を採用した。

この結果、どのような試験条件の元でも的確にESPの較正を行うことができ、測定精度を保つとともに試験が効率的に運用された。

5. 圧力測定例

5.1 模型および圧力測定試験内容

本報告では、圧力測定の具体的な方法について、STOL機半截模型の風洞試験における後流測定試験例を基に述べる。図16に後流測定試験の様子を示す。模型は二機のエンジン・シミュレータを有する「飛鳥」8%半截模型を一部改修したCAD模型である⁷⁾。後流測定は図17に示す櫛形5孔管を用いて計測した。この櫛形5孔管は11本の5孔管からなり、先端の形状は外径1.2φ、内径0.7φのステンレスパイプ5本を接着し、周囲の細管の先端をくさび状（45度）に加工した。この形状のプローブは円筒形や球形の物に比べ、製作が容易で高い加工精度が得られる。

5.2 圧力測定方法

ESPの測定圧力入力孔（ポート）に配管される数は、櫛形5孔管55本と風洞の静圧、総圧等で約60点程度になる。これらの測定圧力は、ESPではPXA、PXBの両モードを使用して2つのモジュールに配管した。また測定圧力値は、1ポートの測定回数を50回として平均値を求めている。

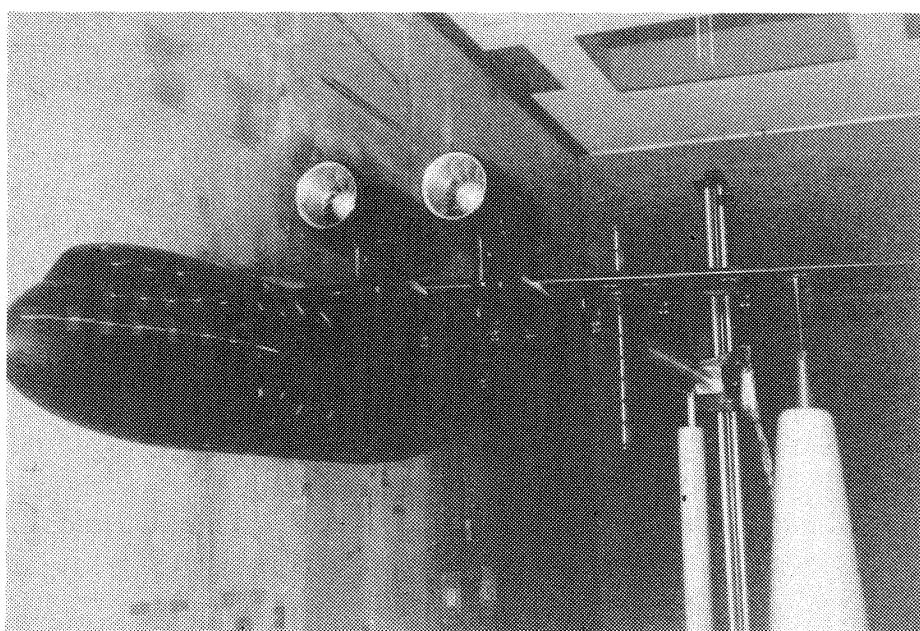


図16 後流測定試験

後流測定試験はトラバース装置の移動、ページ圧力の切り換え、橢形5孔管圧力の測定、データ処理および表示の順で行う。図18にデータ収集タイムチャートを示す。

5.3 後流測定におけるページ機構

一般の模型の後流測定では、橢形5孔管の測定孔と圧力センサーの各ポートは配管用のビニールパイプで直結している。しかしSTOL半截模型の

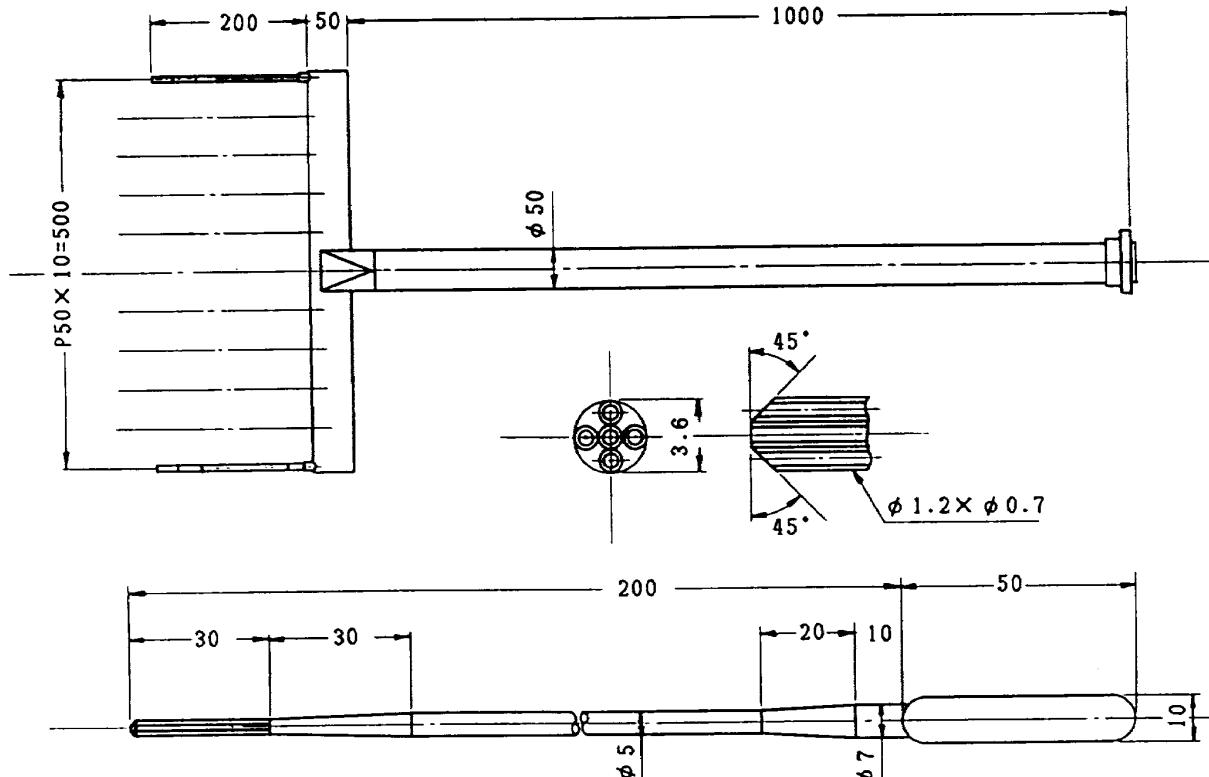


図17 橢形5孔管

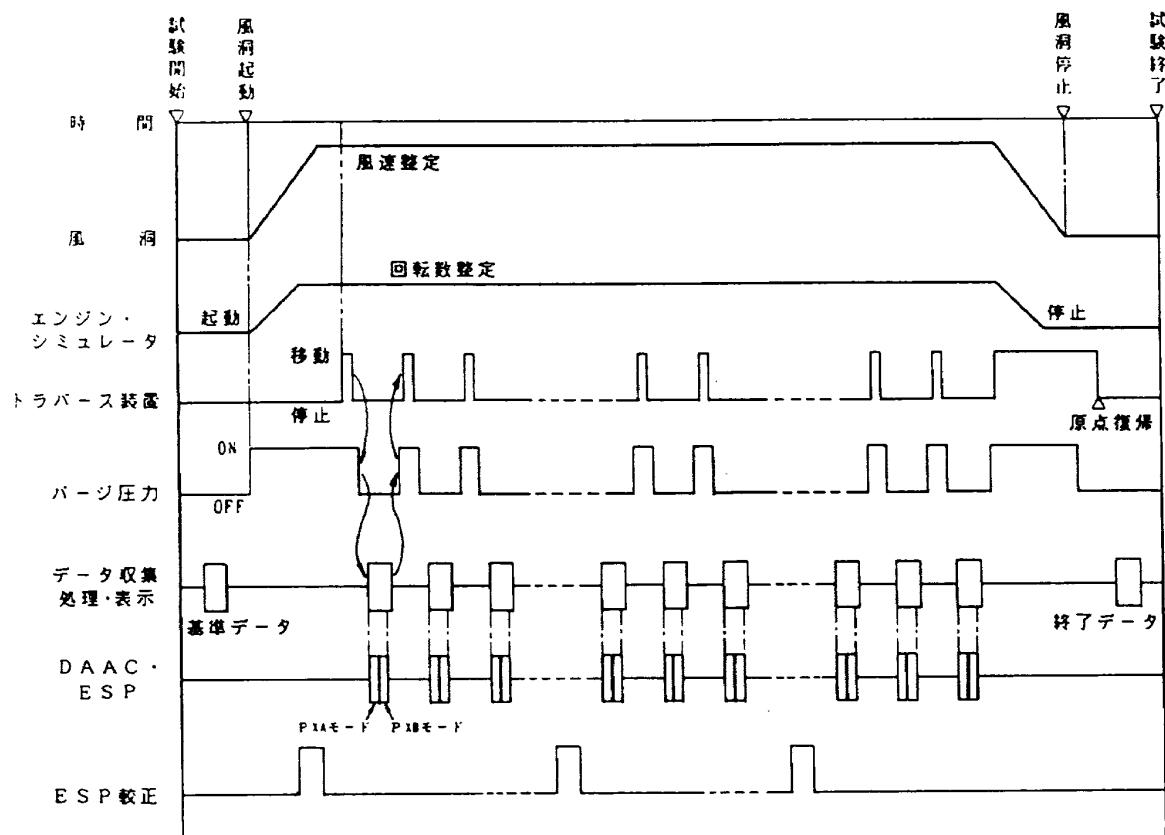


図18 ESP・データ収集タイムチャート

ファンエンジン周りの後流測定の場合、この配管方法ではエンジン用潤滑油がエンジン排気流によって飛散するため、樹形5孔管に流れ込み、配管や圧力センサー内部に油が付着し、正常な圧力測定が出来なくなるとともにセンサーの故障の原因となる。

ここでESPのバージモードによるラインバージを検討したが、対象が潤滑油であることやエンジン排気流によって圧力変換器が破壊されることが懸念されることから、STOL半截模型の後流測定試験では、エンジン排気流によって飛散する潤滑油が樹形5孔管に流れ込むのを防ぐため、別途バージ圧力(14KPa)をかけることにし、配管途中に圧力切り替えバルブを設けた。

この圧力切り替えバルブは、限られたスペース内に設置して多数の測定孔(55点)を切り替えることが必要なので小型であること、圧力の洩れが無いこと、バージ圧力が圧力変換器に作用しないことが条件となる。この条件を満たすバルブとして、ESP(製品名ZOC14)の内部機構に注目し、圧力変換器部を改修して用いた。図19に樹形5孔管とESPとの配管途中にバージ機構を設置した場合の概略を示す。この図に示される電磁バルブは、データ収集用計算機からの信号で操作され、操作空気圧を切り替えることによって測定状態とバージ状態が選択される。バージ状態ではバージ圧力が樹形5孔管に加わり、潤滑油が流れ込まないようになっている。

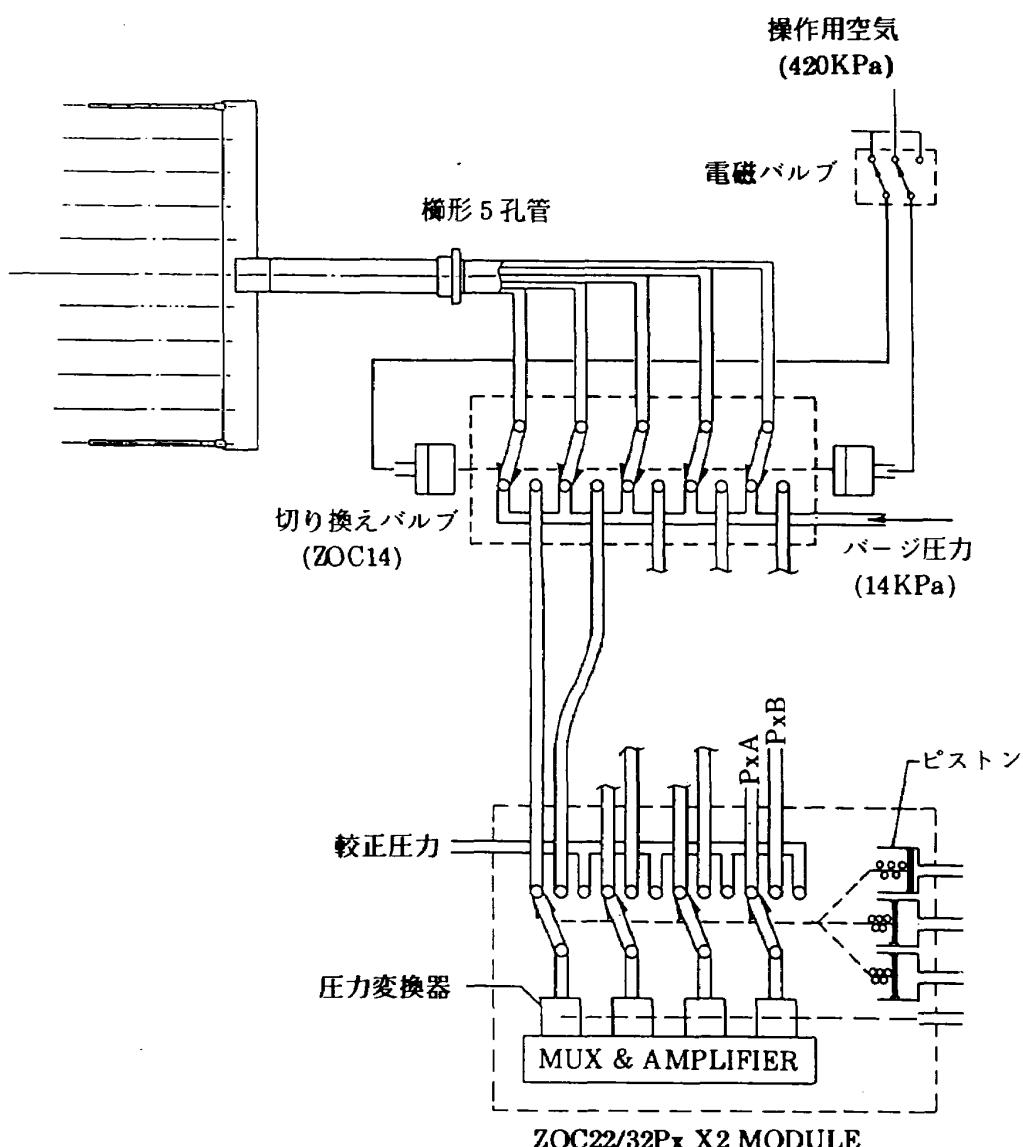


図19 後流測定におけるバージ機構

5.4 後流測定プログラム

この後流測定に用いるプログラム名と概要を図20に、ブロック構成を図21に示す。

後流測定プログラムは当風洞における他の風洞試験と同様に AOS/VS (Advanced Operating System/Virtual Storage)のもと FORTRAN77言語で作成される。

本プログラムでは、6分力測定は行わず、模型の姿勢角(迎角、横滑り角)、風洞パラメータ(静圧、動圧、気流温度)およびGP-IBインターフェ

図20 後流測定プログラム名と概要

プログラム名	概要
ESPMAIN	メイン・プログラム
ESPDATAIN	模型パラメータ等の読み込み
ESPHLMODE	ホスト、ローカルモードの変更
ESPVMESET	VMEの条件設定
ESPINITF	ディスク・ファイルの作成
ESPVMEGET	DATA収集(風洞パラメータ)
ESPMAN	収集DATAの平均化
ESPCHANG	DATAの物理量への変換
ESPTDRIVE	トラバース装置の制御
ESPCAL	ESPの校正
ESPRECAB	圧力測定
ESPFIL	DATAのディスク・ファイルへの格納
ESPGRAFH	処理DATAのCRT表示

ースを通してトラバース装置のX、Y、Zの各座標と5孔管による圧力データを収集する。それらのデータは決められた記録形式でディスク・ファイルに格納するとともにデータの処理を行い、風洞パラメータと模型姿勢角および圧力データをCRT画面に出力するなどの一連の処理を行う。また後流測定試験では、それらと並行して高速結合インターフェース (Multiprocessor Communication Adapter ; MCA) を用いてデータ処理用計算機に測定データを転送し、速度ベクトルを計算してグラフィックディスプレイに後流測定のフローパターンを表示している⁸⁾。

5.5 データ収集の動作概要

ESPとESP制御装置を用いて、後流測定試験を行う場合のデータ収集の動作概要を述べる。後流測定試験のデータ収集プロセスは、図22に示すようにローカル・モードとホスト・モードの2段階からなっている。

5.5.1 ローカル・モード

圧力計測システムを立ち上げた後、風洞試験開始前に圧力測定に用いるセンサーおよびユニットの測定条件を設定するための作業である。これは

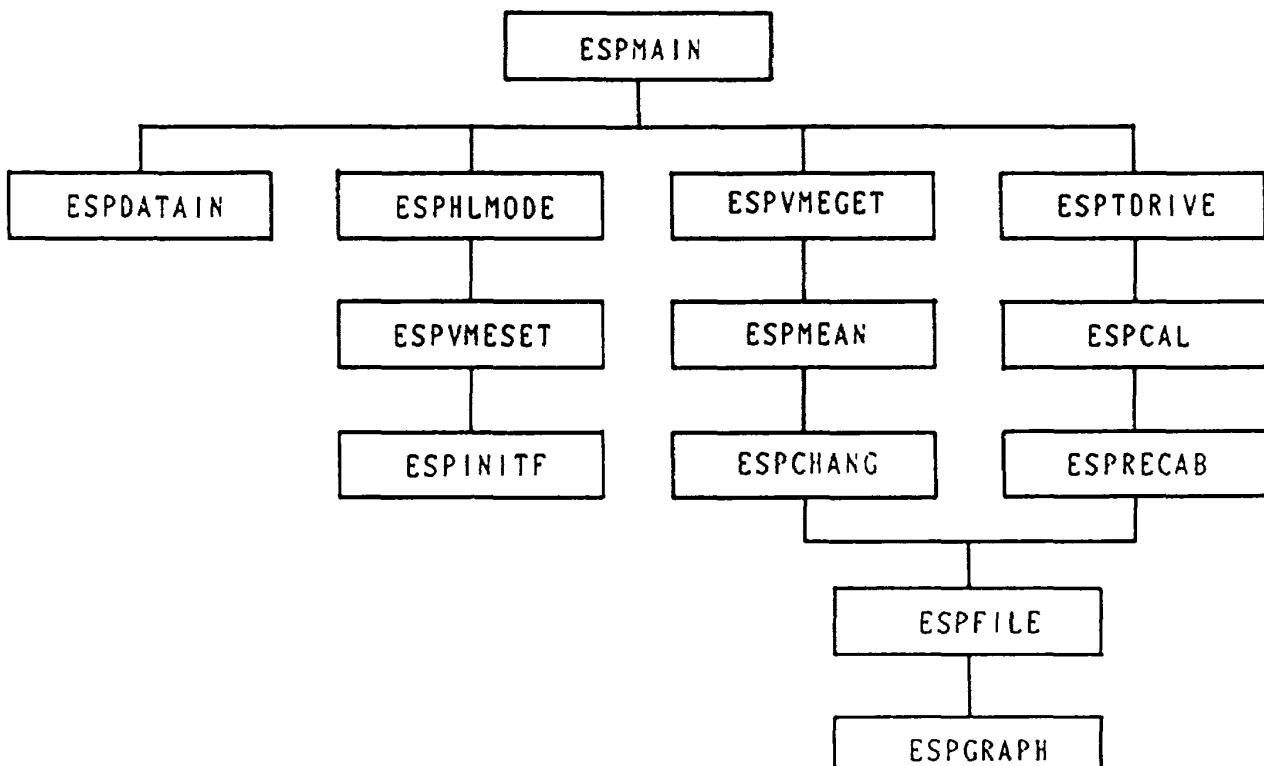


図21 後流測定プログラム・ブロック構成

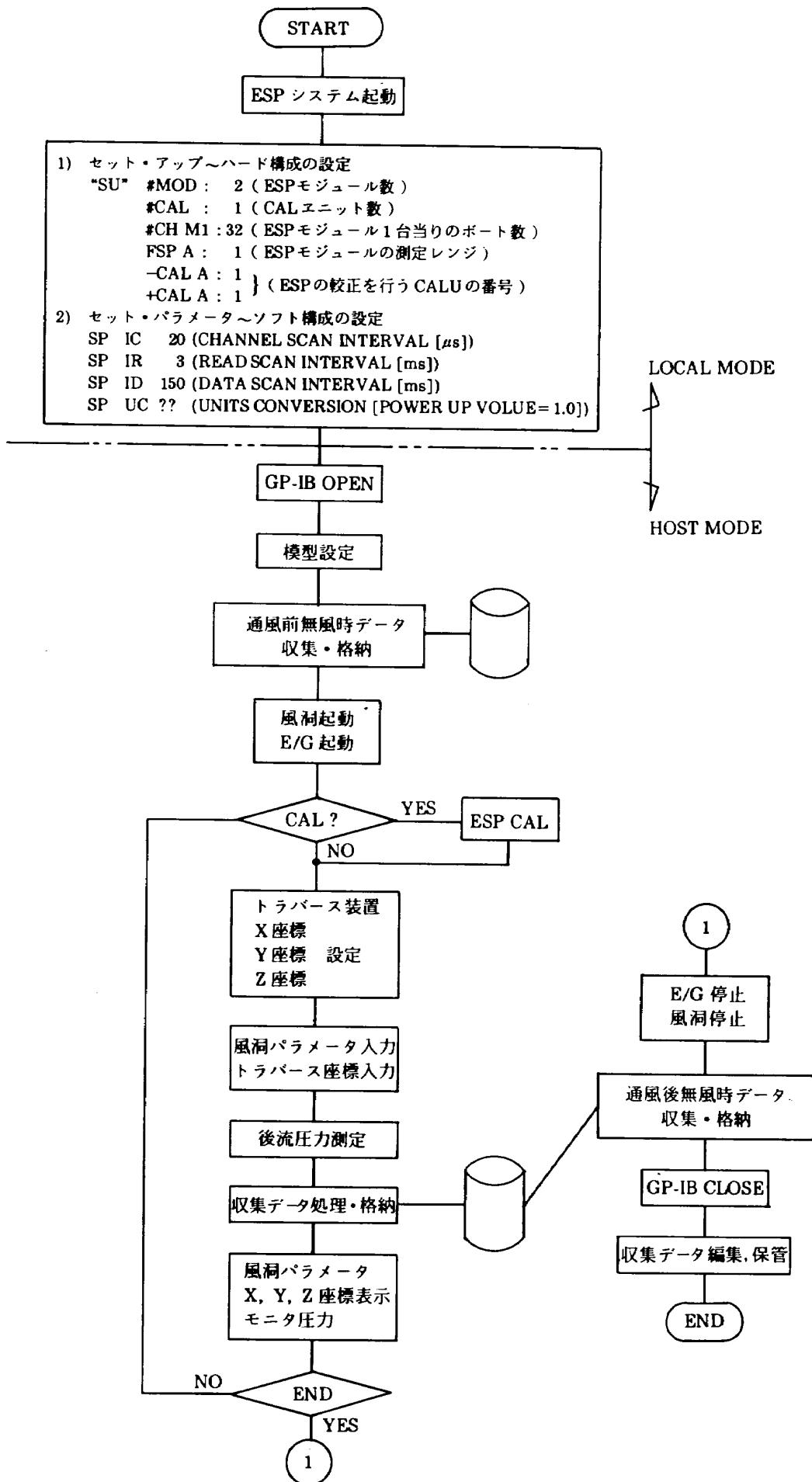


図22 後流測定試験のデータ収集プロセス

CRTターミナルから手動により次の手順で行う。

1) セット・アップ～圧力測定に用いるセンサ

ー、ユニットのハード構成の設定

これは“SU”コマンドを入力することにより

DAACと会話形式で行われるもので

① ESPのモジュール数

② CALUの台数(1:デフォルト値)

③ ESPモジュール1台当たりのポート数

④ ESPモジュールの測定レンジ

⑤ ESPの較正を行うCALUの番号

(1:デフォルト値)

等について設定していく。

2) セット・パラメータ～圧力測定のインターバルタイマー等の設定

データ収集では CHANNEL SCAN, READ SCAN および DATA SCAN の3つのインターバルタイマーが用意されている。それらはCRTターミナルから“SP nn n”形式のコマンドを入力して設定する。

測定条件がポート数64、ポート切り換え20μs

```

SP IC 20  SET CHANNEL SCAN INTERVAL (μs)
SP IR 3   SET READ SCAN INTERVAL (ms)
SP ID 150  SET DATA SCAN INTERVAL (ms)
RR 50 2   READ RAW DATA (VOLTAGES)

```

NUMBER OF DATA SCANS
 NUMBER OF READ SCANS PER DATA SCAN

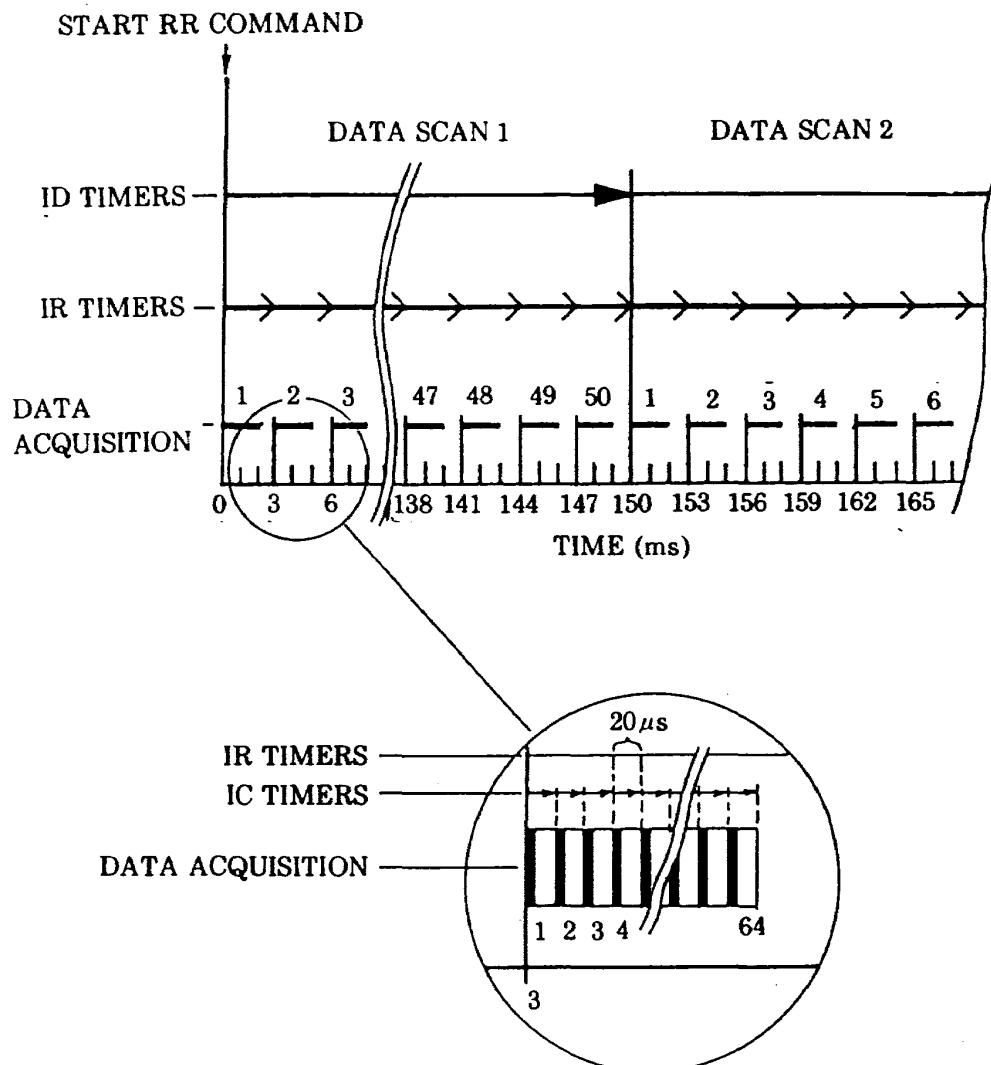


図23 データ収集インターバルと設定方法

(最速値), 1ポート当たり50回収集の時は、次の手順で行う。

- ① SP IC 20～CHANNEL SCAN の設定
ポート切り換えを $20\mu\text{s}$ とする。
- ② SP IR 3～READ SCAN の設定
全ポート数の1回目読み込み開始から、次の読み込み開始までの時間を3(ms)とする。
- ③ SP ID 150～DATA SCAN の設定
1ポート当たり50回収集する時の合計時間を $3(\text{ms}) \times 50(\text{回}) = 150(\text{ms})$ とする。

この時、実際に圧力を加えて正しい圧力が取れているか確認して、各インターバルタイマーの設定値を決める必要がある。

図23は各インターバルタイマーと上記設定値の場合の関係を示したものである。

5.5.2 ホスト・モード

ローカル・モードで測定条件の設定が完了した後、後流測定プログラムを起動させる。これによってGP-IBインターフェースがオープンされホスト・モードとなり、ESPおよびESP制御装置はデータ収集用計算機を通して操作される。

(1) 風洞起動前の処理(無風時データ)

風洞起動前に各センサーの初期値の収集を行い、生データ・ファイルをオープンして格納する。これらは各センサーの零点補正等に用いられる。

(2) 実験中の処理(通風時データ)

風洞を起動し、試験風速設定中にSTOL半截模型のエンジン・シミュレータの回転数を設定する。また同時に圧力測定用センサーESPの較正も行う。これはESPの較正に要する時間が55秒程度かかるため、風速ならびにエンジン回転数の設定の間にESPの較正を行い、後流測定の時間内の較正回数を少なくするための配慮である。

風洞試験の条件が設定された後、後流測定位置にトラバース装置を設定し、風洞パラメータならびにトラバース座標を測定するとともに圧力測定を行う。

収集されたデータは生データ・ファイルに格納し、処理を行い、その結果を表示する。続いて次の後流測定位置へトラバース装置の移動を行い、再度同じ操作を繰り返す。このようにして、トラ

バース装置を制御しながら予定した後流測定断面の測定が終了すると風洞を停止する。

(3) 風洞試験中の後流測定のモニタ

STOL半截模型の後流測定試験では、測定断面が広く、測定点が多いこと、エンジン駆動に高圧空気源の空気を使用するため、1回の運転時間に制約があることなどから、操作ミスやセンサーのオバー・レンジ等による測定エラーによって再試験を行うことは、風洞試験が効率的に運用できない。また、このような高圧空気を用いるパワード・リフト機の場合では、エンジン推力係数を一定にして試験を行うが⁷⁾、大気や気温の変化によってエンジン推力係数や、風速設定のための動圧等が異なるなど試験条件の再現性が難しいため、測定エラーの点だけを再試験により測定し直す方法は好ましくない。従って、これを防ぐためにも、測定したデータのチェックを常時行う必要がある。

このため、後流測定試験では高速結合インターフェース(MCA)を用いてデータ処理用計算機に測定データを転送している。そして速度ベクトルを計算して、グラフィックディスプレイに測定値の正誤判定を行うために、後流測定のフローパターンをリアル・タイムで表示している。図24にそのフローパターン表示の一例を示す。

(4) 風洞停止後の処理

風洞停止後、初期設定状態に戻しデータ収集を行い、生データ・ファイルに格納しファイルをクローズするとともにGP-IBインターフェースもクローズしてESPおよびESP制御装置の制御をロ

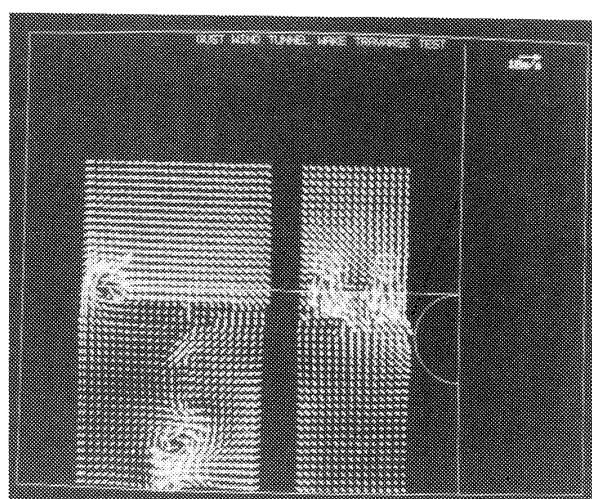


図24 後流測定の表示例

一カルモードにして実験を終了する。

5.6 試験終了後の処理

実験終了後、生データ・ファイルをリネイムする。これは生データ・ファイルが実験毎にオバーライドされるためである。次に、リネイムされた生データ・ファイルをデータ処理用計算機にファイル転送し、処理を行い処理結果をラインプリンタやXYプロッタに出力する。これは文献2の6分力測定試験の場合とほぼ同様である。

6. 後流測定試験時間の比較

今まで、ESPとESP制御装置を用いた、当風洞の圧力計測システムの構成と各ユニットの概要および圧力測定方法について述べた。

本圧力計測システムが従来のスキャニバルブによる圧力測定に対して、圧力測定時間がどの程度高速化されたかを見るために、STOL半截模型の後流測定試験の場合を例に圧力測定時間を比較してみた。

6.1 試験条件

使用した模型はSTOL半截模型で、後流測定範囲を図25に示す。この場合、測定断面が25mm間隔のメッシュになるように、トラバース装置はY軸方向に25mmピッチで21回、Z軸方向に5回移動させている。

測定圧力数は、櫛形5孔管55本と風洞の静圧、総圧等で約60点程度で、これらはスキャニバルブ3連式S型(1台)に配管した。測定圧力値は1ポートの測定回数を10回として、その平均値を求めている。そのデータ収集タイムチャートを図26に示す。ESPの場合については5章2項で述べた通りである。

この時の測定条件は迎角一定、風速=28m/s、エンジン・シミュレータ2基、エンジン回転数=35800rpm、エンジン回転に要する元圧=830KPa、空気源の使用圧力=2.8MPa~1.3MPa(50分間連続使用)までの1.5MPaである。尚、当風洞が所有する圧縮機は貯氣槽圧力0.1MPaの加圧に約6分かかるため、使用した圧力の回復に90分の時間

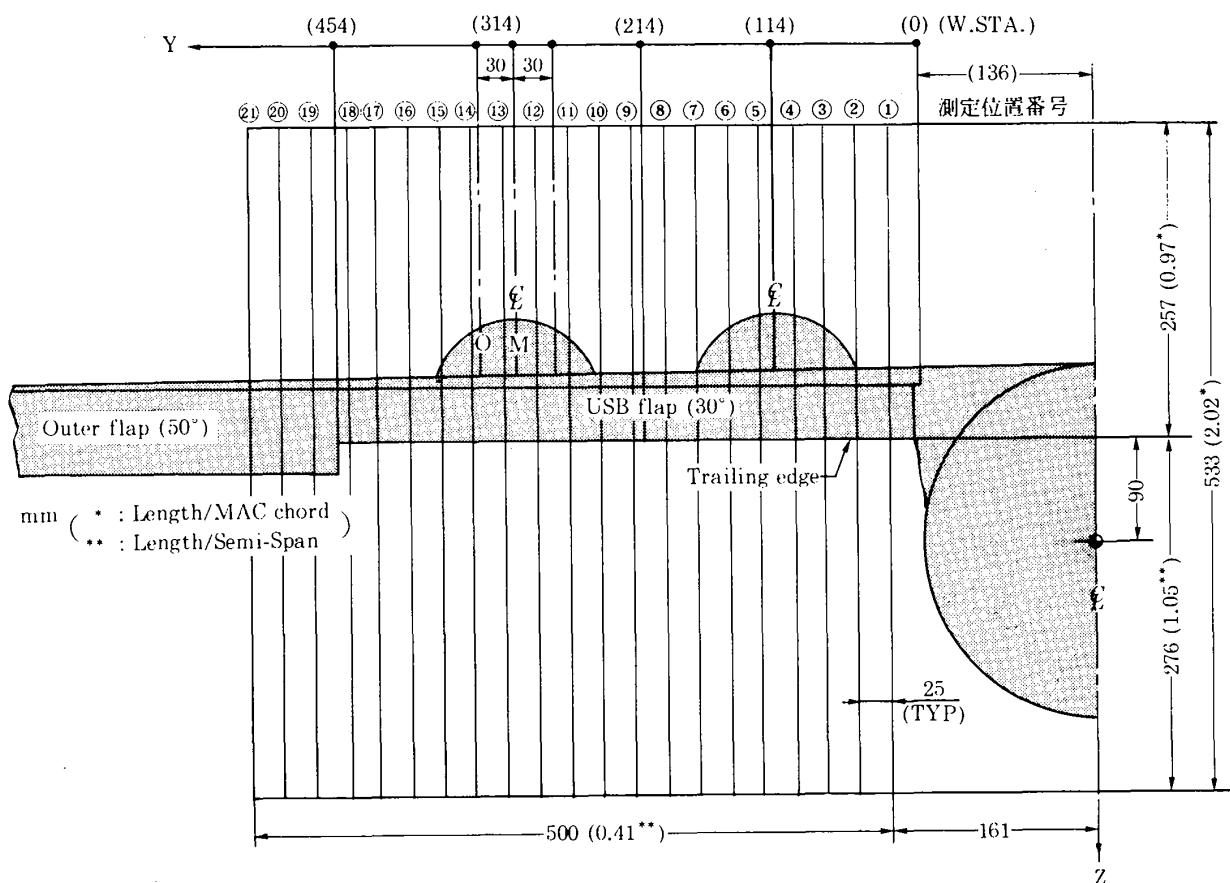


図25 後流測定範囲

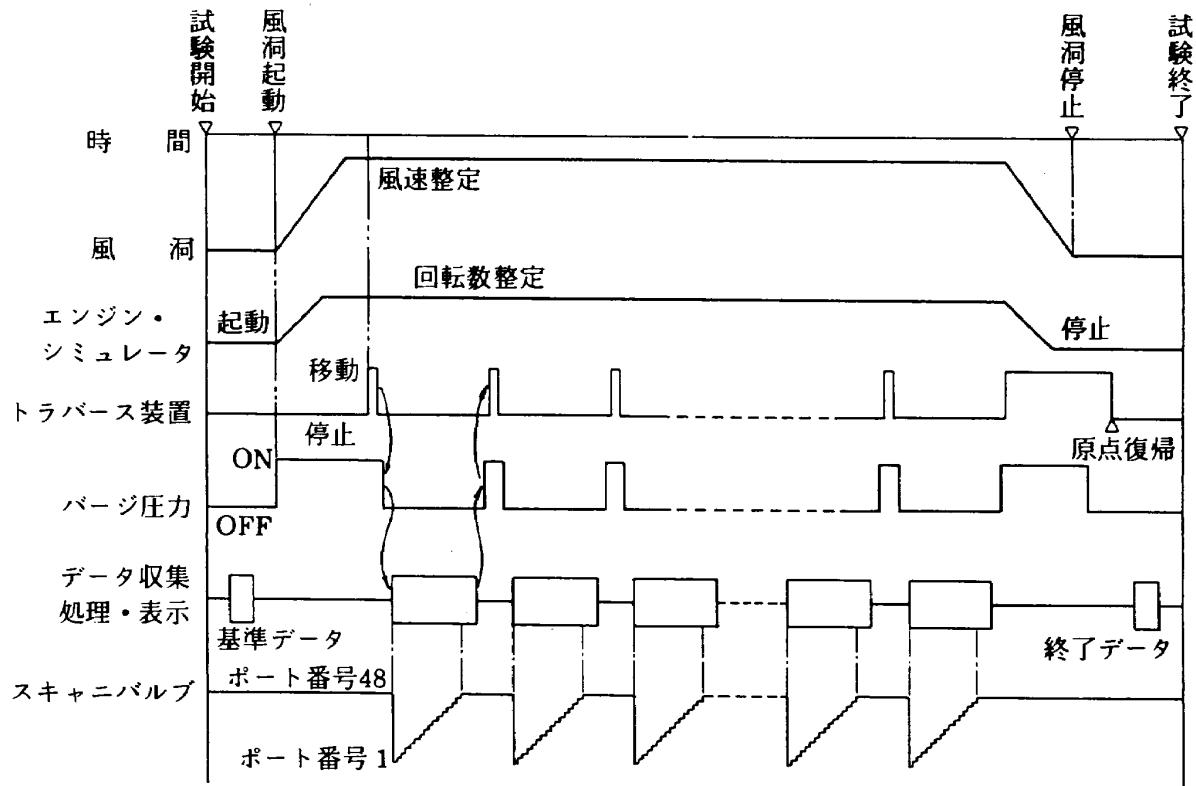


図26 スキャニバルブ・データ収集タイムチャート

を要する⁹⁾。

6.2 後流測定試験時間の比較結果

後流測定試験はトランバース装置の移動、バージ圧力の切り換え、横形5孔管圧力の測定、データ処理、表示およびディスクへの書き込みの順で行われるが、これら一連の処理に要する時間はスキャニバルブが約1分40秒、ESPが約20秒程度である。それらの時間配分を図27に示す。

この結果、スキャニバルブとESPによるSTOL半截模型の後流測定における、後流測定範囲の全測定時間は図28の通りであった。

貯気槽圧力の制限により、エンジンを連続運転できる時間は約50分に限られる。従来のスキャニバルブ方式では、この時間内に25回の測定と移動しか出来なかった。次の測定を行うためには、貯気槽の圧力回復を待たねばならない。この結果、全測定範囲の測定に要する時間は、約7時間50分程度になる。この時間は通常の風洞運用時間で考えると1日半に相当する。

一方、ESPの場合は途中数回の校正を行っても、制限時間内の約37分の時間で一つの後流測定断面

が測定できた。貯気槽圧力の使用も1.2MPa程度である。

これにより貯気槽の圧力回復時間を利用して模型形態の変更を行うことができ、一日当たりの試験ケースの実施数が大幅に増加した。また、ESPを用いることにより圧力測定が高速化され、1回の測定時間が大幅に短縮したことやデータ処理用計算機が再新されたことにより、MCAによる高速データ転送とリアル・タイム処理による流れ場のグラフィック表示が実現できた。

しかし、今回のESPを用いた圧力計測システムでは、次の問題が提起された。それは、図23で示したESPのデータ収集インターバル設定(150ms)から、ESPによる1回の測定時間は、PXAおよびPXBの両モードで300ms、モード切り換え時間に2秒要するので合計2.3秒となるべきであるが、図27を見るとPXAおよびPXBの両モードで6秒もかかり、合計として測定時間が8秒になっている点である。

その原因是、DAACの制御にGP-IBインターフェースを用いていることである。即ち、測定時間の約60%は、データ収集用計算機とDAACとの間

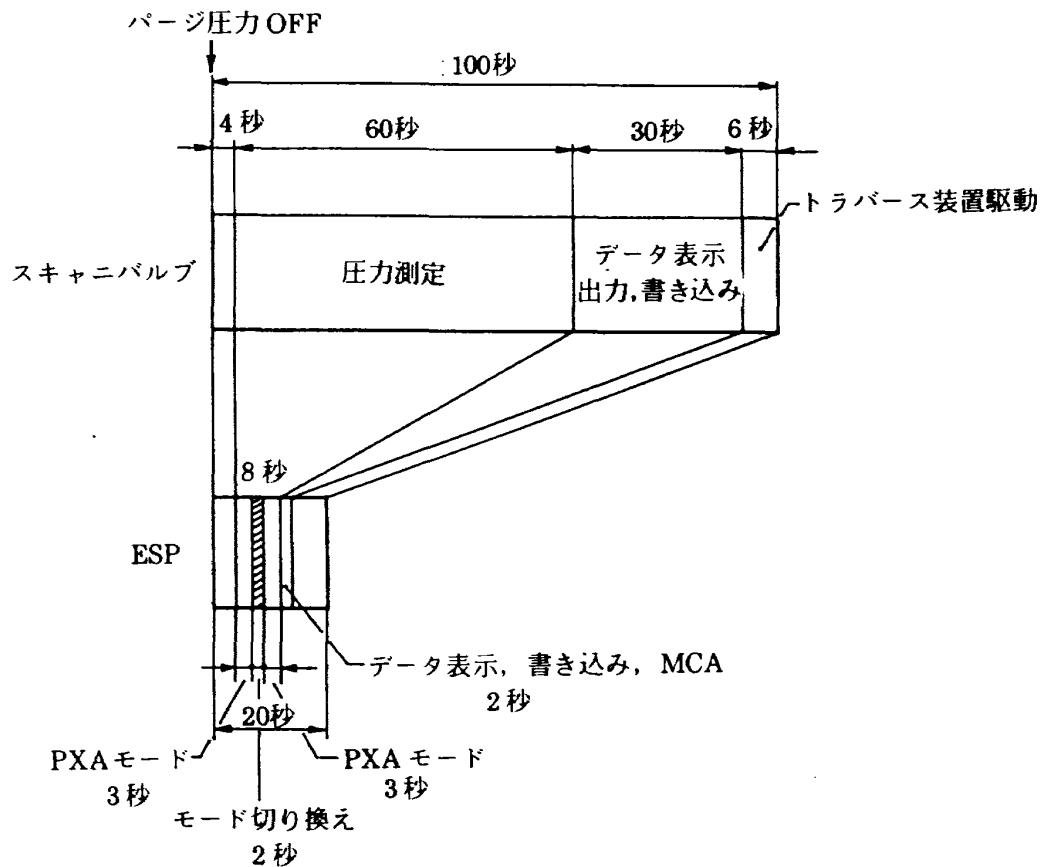


図27 スキャニバルブとESPの測定時間配分

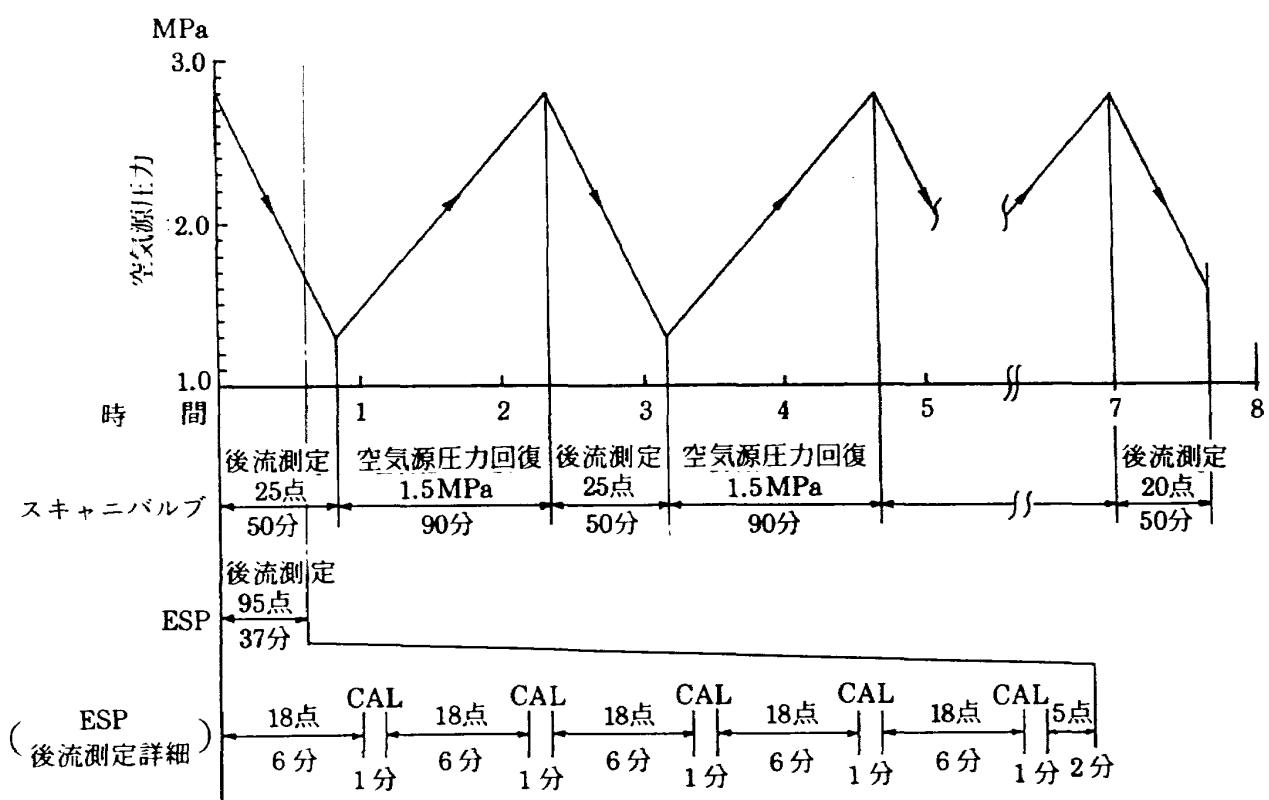


図28 スキャニバルブとESPの後流測定時間の比較

でのコマンドおよびデータの送受信に時間を見るため、トータルとして今回の測定時間になった。この点については、GP-IB インターフェースの使用方法について検討を進める必要がある。

7. まとめ

1回の風洞試験時間が長くなる連続式風洞で、ESP を使用する場合、環境変化による測定値への影響が問題になる。この問題は、既知のモニタ圧力を用いた較正方法を確立して対処した。

同方法により、突風風洞データ処理装置に ESP と ESP 制御装置を組み込んだ、高速圧力計測システムを確立した。

この結果、当風洞における STOL 半截模型の後流測定試験の場合では、従来のスキャニバルブによる圧力測定に比べて約 1/13 の時間で済み、実質的には 1 日半の風洞試験を 1 時間で終了できるようになった。

また、この圧力測定の高速化の実現と、データ処理用計算機の更新による各機器の整備によって、流れ場のリアルタイム処理とディスプレイへの表示が可能となり、風洞試験における圧力測定の信頼性と効率が大幅に向上した。

さらに、ESP を用いた圧力計測システムを製作する上で、DAAC 等の ESP 制御装置を導入することにより配線、配管を含め較正圧力の制御やデータの変換と格納などのハード、ソフトの両面から圧力計測システムの構築が容易になった。

今後の課題は、DAACを中心とした ESP 制御装置の機能を十分に活用し、圧力計測システムの性能を高め、更に圧力測定時間の短縮を図ることである。

また近年、変動圧力の測定が大きな課題になっ

てきている。当風洞でもこの ESP を用いて、変動圧力の測定方法の研究、開発を進める予定である。

最後に ESP と ESP 制御装置の導入、圧力計測システムの製作と測定プログラムの作成にあたって、多大な協力を得た株式会社大手技研、日本データゼネラル株式会社の関係各位、ならびに ESP の使用に関する貴重な資料を提供していただいた、空気力学部の関根英夫主任研究官に感謝の意を表します。

8. 参考文献

- 1) 廣末健一ほか；航空宇宙技術研究所突風風洞の計画と整備試験，TR-335, 1973年9月
- 2) 藤田敏美ほか；突風風洞データ処理装置（データ収集部）の改修、計測システムのオンライン化, TM-611, 1987年7月
- 3) 藤田敏美ほか；電子式高速多点圧力変換器(ESP)を用いた吹出式遷音速風洞の圧力計測, TR-883, 1985年10月
- 4) H. S. GPIB ハンドブック解説書, 日本・データゼネラル, No. P3005-11
- 5) ZOC SYSTEM MANUAL SCANIVALVE
- 6) 渡辺 理；ひずみゲージとその応用, 日刊工業新聞社
- 7) 奥山政広ほか；CAD 設計による USB-STOL 機半截模型の風洞試験(第1報), TM-566, 1987年3月
- 8) 第11研究グループ；突風風洞後流測定試験における流れ場のリアルタイムモニタ化, 航技研ニュース, 1990-12, No.380
- 9) 廣末健一ほか；突風風洞空気源設備, TM-379, 1979年2月

航空宇宙技術研究所資料 638号

平成 3 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 東 京 プ レ ス

東 京 都 板 橋 区 桜 川 2 - 27 - 12
