

1 m × 1 m 超音速風洞改修後の風洞性能と運転方式について

渡辺光則、楯 篤志、浜本 滋、酒井謙二（航空宇宙技術研究所）
外立政隆（航空宇宙技術振興財団）

The performance and control system of NAL 1m × 1m supersonic wind tunnel after some improvements.

Mitsunori WATANABE, Atsushi TATE, Shigeru HAMAMOTO, Kenji SAKAI (NAL),
Masataka HASHIDATE (JAST)

概要

航空宇宙技術研究所 1 m × 1 m 超音速風洞の風洞運転制御と測定部気流特性の改善を目指して、測定部より上流部の改修を平成 11 年度から 12 年度かけて実施した。その結果、運転のワンマンコントロール化と測定部気流特性の改善（測定部付近のマッハ数が ± 1 % 以内で設定でき、そのばらつきが ± 0.5 以内に納まる）を得ることができた。

本報告では、改修概要と改修後の風洞性能について報告する。

1. はじめに

国内最大級の 1 m × 1 m の測定部を持つ航空研超音速風洞は 1961 年に建設されて以来、平成 11 年の風洞改修前までに約 19,500 回の通風を数えるに至った。この間、次世代超音速機（SST）、H-II ロケット、宇宙往還機（HOPE）等の数多くの航空・宇宙機の研究開発に大きく寄与した。しかし、建設後約 40 年が経過し、老朽化が進んだことにより、近年の航空・宇宙機の開発で要求される高精度な測定部気流特性を満たすことが難しくなってきた。

本改修では、測定部気流特性の向上を主目的として老朽化した風洞主要各部と風洞運転制御システムの更新を行った。改修箇所は、測定部上流部（高圧導管部、集合胴部、可変ノズル部）と風洞運転制御システムである。平成 12 月 10 日末の時点で機械の据付、集合胴圧力制御調整試験、マッハ数 1.4、2.0、2.5 及び 3.0 の気流調整試験が終了した。残されたマッハ数 3.5、4.0 の気流調整試験は平成 12 年内には終了する予定

である。

本報告では、改修概要及び改修後の運転制御システムと気流特性について報告する。

2. 機械系の改修

図 1 及び図 2 に改修後の風洞全体図と風洞本体図を示す。また表 1 に改修後の基本風洞性能を示す。基本風洞性能は改修前とほぼ同等である。改修範囲は、超音速風洞専用仕切弁下流から測定部まで（高圧導管部、集合胴部及び可変ノズル部・測定部）である。

以下に各部改修の詳細を示す。

2.1 高圧導管部の改修

高圧導管とは、図 1 に示す超音速風洞用仕切弁下流から集合胴入口までの流路を指す。改修に際して、流路内の 2 個の伸縮管は、既設のものを再使用した。従来の仕切弁下流から集合胴までの流路は L の字を描いていたが、本改修工事で集合胴部を約 5 m 長くしたため、コ の字を描く流路となった。その際、調圧弁圧力制御性能を確保するために、調圧弁入口

直前の直管部長さは改修前と同じとした。

2. 2 集合胴部の改修

集合胴部は、調圧弁のある流入胴・拡散部、整流部及び縮流部で構成されている（図2参照）。各部の改修前後の寸法比較を表2に示す。

2. 3 流入胴・拡散部の改修

流入胴・拡散部における主な更新箇所は、調圧弁の油圧シリンダー、位置検出器及びロック装置（電磁石）である。また、拡散部を新設の整流部に結合させるために、拡散部下流側に新規のフランジを設けた。このフランジの取付けにあたって、障害となる第2多孔板を上流側へ90mm移動させた。

更新後の調圧弁油圧シリンダー基本性能は改修前と同等である。但し、閉方向だけにあったクッション機構を開方向にも設けた。

更新前の油圧シリンダーは、クッションリングが脱落していたため閉速度が本来の性能より著しく遅かった。このことが調圧弁の圧力制御性能の低下の原因となっていた。更新後は本来の速度を回復したことにより、調圧弁の圧力制御性能が改善された。マッハ数2.0の通風における、改修前後の油圧シリンダー速度の比較を表3に示す。油圧シリンダーの速度は、毎秒当たりの動きの量を使用最大ストロークに対する百分率で表したものである。

2. 4 整流部の改修

図3に集合胴部の断面を示す。改修前の調圧弁下流の気流を一様にする機構は、上流側から拡散用方向板、第1多孔板及び第2多孔板が拡散部に設けられ、整流部においては4枚のスクリーン（金網：SUS製14メッシュ）が設けられていた。本改修では新たに第2多孔板の後に、中高音領域で吸音効果のあるグラスウール製消音スプリッタを整流部内

に設置し、流れの乱れを低減する機能を強化した。また消音スプリッタ下流の整流領域においては、4枚のスクリーンに加え第1スクリーンと第2スクリーン間にアルミ製ハニカム（セルサイズ9.52mm×長さ185mm）を増設し、整流能力を向上させた。消音スプリッタとハニカムの増設により、整流部は従来より約4m長くなった。なお改修後の第1スクリーンのメッシュサイズは#10で、また第2、第3及び第4スクリーンのメッシュサイズは#20である。

2. 5 縮流部の改修

縮流部の形状設計は、改修前の形状を基準とし、数値シミュレーション（CFD解析）を用いて行った。縮流部入口から可変ノズル入口まで流れの剥離を防ぐために、

- (1) 従来よりも縮流部全長に対する異形縮流部の長さ比を大きく、
- (2) 円形縮流部上流側の曲率半径を可能な限り大きく、
- (3) 可変ノズル部固定側壁との接合部において、縮流部側の曲率半径を可能な限り大きくしている。

最終縮流部の形状、マッハ数分布及び静圧分布が、縮流部入口から可変ノズル部入口にかけて滑らかな分布であることをCFD解析で確認している。

2. 6 可変ノズル部の改修

図4に可変ノズル・測定部の全体図を、また図5に同部の側面図を示す。可変ノズルの全長及び測定部との結合部断面形状は改修前と同じである。また、表2に示したように可変ノズル入口の高さを、2.2mから1.5mに変更した。

改修後の可変ノズルの特徴を以下に記す。

- (1) ノズルスロートより下流域でのノズルの設計形状は、改修前と同じである（ $M=1.4$ から 4.0 ）。

(2) 可変ノズル（上下の可撓板^{とつ}）の形状設定（マッハ数設定）のためのジャッキ駆動を、従来の油圧制御から電動制御に切替えた。

- ・電動ジャッキの数量：上下各21対
- ・ジャッキ軸型式：ローラーネジ軸

(3) 所定のマッハ数において、ノズル形状の微調整が可能となった。各ジャッキのストローク調整可能範囲は、平均で±10mmである。

(4) ノズル形状の変更時間

M1.4からM4.0までの変更に必要な時間は約10分である。

(5) 左右の側壁が電動で開閉できる。

(6) 上下可撓板は、材質がステンレス(13Cr-5Ni-1Mo)、板厚が18mmである。また側壁は材質及び板厚が各々、ステンレスクラッド鋼(SUS304と鋼の合板)、板厚30mmである。

(7) 内壁(気流面)全域が鏡面仕上げ(パフ仕上げ)である。

2. 7 測定部の改修

測定部には従来のシュリーレン観測窓に加えて、新たに以下の機能を追加した。

- (1) 模型等が取付けられるように測定部上下壁が取外しできる構造とした(有効径600mm;フランジ式閉止蓋)。
- (2) 上壁の閉止蓋内には有効径450mmの補助観測窓が取付けられる構造とした。通常の風洞運転においては、補助観測窓を常設する予定である。

測定部の寸法は改修前と同じで、測定部出口断面が1m×1m、流れ方向の長さが1.8mである。

改修前はノズル上下壁(可撓板)の形状変化に伴う流れ方向位置の変位を測定部の上下壁がスライドすることにより吸収していたが、改修後は最上流部の#1ジャッキに接合されている滑り継手が変位を吸収するように機構

を変更し、測定部気流面を完全な固定壁とした(可撓板の形状を変化させる機構を変更)。

3. 制御系の改修

制御系の改修は、一部を除き風洞運転制御システムの全体について行った。主な改修内容を以下に記す。

(1) 新規に製作したもの

- ① 風洞運転制御卓
- ② 風洞運転制御コンピュータ
- ③ 風洞監視盤
- ④ 圧力制御盤
- ⑤ 可変ノズル制御盤
- ⑥ 模型制御盤

(2) 既設品を改造したもの

- ① 補機制御盤
- ② 油圧源空気源操作盤
- ③ 第2スロート機側制御盤

以下に風洞運転制御システムの改修と、制御装置の中で特に重要な集合胴圧力制御部の改修について述べる。

3. 1 風洞運転制御系の改修

風洞運転制御システム構成図を図6に示す。風洞運転制御システムの構成は、①風洞運転制御コンピュータ、②風洞操作卓、③風洞監視盤、④圧力制御盤、⑤可変ノズル制御盤、⑥模型制御盤及び⑦補機制御盤、以上7個の主要装置から構成される。①の風洞運転制御コンピュータには、産業用パソコン(東芝製F3100A-model6000;CPU233MHz)を使用した。また②から⑦の制御装置は、PLC(プログラマブルロジックコントローラ;横河電機製FA-M3シリーズ)を内蔵している。①から⑦の各装置間の信号伝送は、基本的に光ケーブルを使用した多重伝送方式である。図6に示すように制御の方法は、原則的に機能上類似性のある機器をまとめて一つの制御盤で制御及び監視を行う方式^{2),3)}を取っている。制御のためのパラメータの設定は、オペレータが風

洞制御卓内に置かれた風洞運転制御コンピュータ（キー入力）とPLC（タッチパネル入力）により行う。制御室（中央）から各機器への制御指令は、同制御卓より風洞監視盤を経由して各制御盤に伝送される。最終的に機器への制御指令は制御盤より発せられる。反対に機器の監視情報は、各制御盤を経由して風洞監視盤に集約され、風洞制御卓のPLC（タッチパネル）及び風洞運転コンピュータ（モニター）に伝送される。以上のように新しい風洞運転制御システムを構築したことにより、通風準備、通風及び通風停止までの一連の制御を、風洞制御卓上で1人のオペレータで実行できるようになった。

3. 2 集合胴圧力制御の改修

本改修前の集合胴圧力制御は、調圧弁駆動用油圧シリンダの動作制御を行うサーボバルブが最新式のものであったにも拘わらず、同油圧シリンダの劣化、圧力制御装置の能力限界から、集合胴圧力制御能力は満足できるものではなかった。今回、調圧弁駆動用シリンダ及び圧力制御装置を更新したことにより、集合胴圧力制御性能を改善することができた。圧力制御装置の主な仕様を表4に示す。

圧力制御方式⁴⁾（調圧弁動作制御方式）は、風洞起動時（調圧弁の開き始め）の過渡圧力制御時にはフィードフォワード（FF）方式とし、その後の定常圧力制御時には比例・積分（PI）方式とした。集合胴圧力制御は、一般に風洞起動時には最短時間で設定圧力に近づけ、設定値と現在値の圧力偏差がある基準以下になった以降は、定常偏差を可能な限り小さくなるように制御することが望ましい。このことを考慮し、フィードフォワード制御ではマッハ数、集合胴設定圧力（Pos）、高圧導管圧（Pd）、貯気槽容量及び過渡圧力時の調圧弁オーバーシュート量の条件をパラメータとして、調圧弁の最適な動作を予測制御し

ている。また比例・積分制御では、貯気槽圧力補償ゲインを含めた制御を行っている。また、PLCを導入したことにより、マッハ数及び通風中の時々刻々に対応した最適な制御パラメータをより複雑に設定できるようになった。

4. 集合胴圧力制御性能

圧力制御調整試験を実施し、より短時間で安定した設定圧力になるように集合胴圧力制御の調整（調圧弁の動作調整）を行い、圧力制御装置の性能を確認した。図7.1から図7.4にマッハ数1.4、2.0、3.0及び4.0の集合胴圧力変化について、改修前後の対比を示す。当初集合胴部の容積が約2倍になったことで、集合胴設定圧力までの到達時間（整定時間）が長くなることが懸念されたが、実際は改修後の方が各マッハ数において整定時間が短くなっている。特にマッハ数4.0（図7.4）において、最も顕著にその違いが現れている。マッハ数4.0では整定時間が改修後の方が約2秒短い。整定時間が短くなった最大の理由としては、調圧弁駆動シリンダを更新したことでフィードフォワード制御を採用したことが上げられる。圧力設定精度 $\pm 1.0\%$ 及び圧力安定度 $\pm 0.1\%$ については、マッハ数1.4、2.0、3.0及び4.0の各マッハ数とも目標値内に入り仕様を満足している。

5. 運転方式

5. 1 通風運転の種類

通風運転の種類としては、マッハ数固定による①定常圧力運転と②圧力スイープ運転の2種類である。定常圧力/圧力スイープ運転における集合胴標準設定圧力は改修前とほぼ同じとしているが、マッハ数2.5の場合については通風時のスタートを良くするために改修前より10%アップしている。

5. 2 運転手順

新しい風洞運転制御システム下での運転フローを図8に示す。運転フローの各項目については、付録に要点をまとめた。

6. 測定部気流特性³⁾

圧力制御の調整に引き続き、測定部における気流特性を調べた。測定部気流特性の要求値は以下の通りである。

- ・マッハ数設定性能：

$M=1.4 \sim 4.0$ において設定値の $\pm 1\%$ 以内

- ・マッハ数の空間分布の一様性：

$M=1.4 \sim 4.0$ において平均値の $\pm 0.5\%$ 以内

6. 1 マッハ数分布測定方法

測定部のマッハ数分布測定には、櫛形総圧管プローブを使用した。従来より使用してきたプローブに加え、今回の測定に際して新たに気流方向の測定範囲を広げた11列櫛形総圧管プローブを製作した。図9に各プローブの概略寸法と、測定部での測定範囲及び測定部内の座標系（気流の進行方向+X：右手系）を示す。11列プローブは、外径3mm、内径1mmの総圧管が11本、20mm間隔で幅200mmに一直列に配置されている。また15列プローブは幅280mmで、総圧管の内外径及び配列間隔は11列ものと同様である。各々のプローブで気流（X）方向に対し測定できる範囲はアームの長さで決まり、11列及び15列プローブが各々 $L=700\text{mm}$ 及び $L=300\text{mm}$ である。

今回はまず、横（Y）方向の分布の測定を従来品の15列プローブを使用して行い、気流（X）方向／上下（Z）方向の平面分布測定を、新製の11列プローブを使用して行った。試験では、各通風前にプローブを模型支持装置のストラット（スティングポッド）に取付け、総圧管先端の気流（X）方向位置の

プリセットを行い、通風中に上下（Z）方向にストラットを平行移動させ総圧分布の測定を行った。

6. 2 横方向流れ特性

15列プローブを図9に示すように各総圧管が水平に並ぶようにセットし、マッハ数1.4、1.5、2.0、2.2、2.5、3.0、3.5及び4.0について横（Y）方向の総圧（衝撃波後流の総圧：Po2）を測定部の中心（ $X=0$ ）で調べた。上下（Z）方向の測定範囲（通風中の平行移動範囲）は $\pm 100\text{mm}$ （ $M3.0$ では $\pm 300\text{mm}$ ）とした。代表的な例として、図10にマッハ数4.0の測定結果を改修前と比較して示した。改修後のPo2データは、改修前に比べて横（Y）方向の一様性が著しく向上していることがわかる。改修後における横（Y）方向のPo2の変化は、 $\pm 0.1\%$ 以下である。横（Y）方向の一様性は他のマッハ数でも同様な傾向を示した。改修後における横（Y）方向のPo2の変化は、最大でもマッハ数2の $\pm 0.3\%$ であった。

6. 3 気流方向流れ特性

横方向総圧測定結果から横（Y）方向のマッハ数分布は良好な2次元性が得られたので、測定部内のマッハ数分布を調べる際には、上下（Z）方向のマッハ数分布をいくつかのX断面内で調べることにした。気流（X）方向の測定点は、測定部中心（ $X=0$ ）から前後の位置で、 $X=-425$ 、 -190 、 40 、 275mm の4断面である。

図11.1と図11.2に、設計ノズル形状でのマッハ数1.4及び2.0のマッハ数分布を示す。マッハ数1.4及び2.0の両者とも、マッハ数設定性能及びマッハ数の一様性は目標値内に入っている。

図11.3と図11.4に、マッハ数2.5及び3.0における設計ノズル形状と、一

様性向上のためにノズル形状を微調整した後のマッハ数分布を示す。マッハ数2.5では、図11.3.1に示すように、測定部中心から40mm下流の断面において $Z=0$ 付近でマッハ数の一様性が目標値より外れた結果を示した。目標値内に分布を納める調整作業として、可変ノズルの#21ジャッキ（最も下流のジャッキ）を0.3mm押し下げた結果、図11.3.2に示すように一様性は規定値内に納まった。なお調整作業では、測定結果に基づき、予めCFDによるパラメトリックスタディを実施し、調整量を決定した。マッハ数3.0についても可変ノズルが基本形状では目標値外であった（図11.4.1）ため、マッハ数2.5と同様な調整作業を行い（#20ジャッキ：1.31mm押し下げ、#21ジャッキ：0.4mm押し下げ）、マッハ数の一様性を目標値内に納めた。その結果を図11.4.2に示す。

7. まとめ

1m×1m超音速風洞の老朽化対策と測定部の気流性能向上を目的として、風洞の主要部である高圧導管部、集合胴部及び可変ノズル・測定部と風洞制御システムの更新を行った。更新後の成果として以下の内容を得た。

- (1) 集合胴圧力の圧力安定時間が短縮した。
また圧力安定度が増した結果、計測可能時間が30秒以上という目標を満足した。
- (2) 可変ノズルの形状設定において、個々のマッハ数設定に対し、微調整が可能となり、マッハ数1.4、2.0、2.5及び3.0における測定部気流マッハ数の一様性は、目標値（マッハ数設定精度1%以内で、ばらつきが平均値の0.5%以内）を満足した。
- (3) 風洞運転制御の自動化を確立し、ワンマンコントロールを実現した。

8. 謝辞

本改修工事の遂行にあたっては、航空宇宙技術研究所の多くの方々に御協力を頂いた。また改修工事の担当を川崎重工業株式会社にして頂いた。関係各位に深甚なる感謝の意を表する。

[参考文献]

- 1) 空気力学第二部：「1m×1m吹出式超音速風洞の計画と構造」、NAL TR-29,1962
- 2) 佐藤衛、神田宏、須谷記和、重見仁、戸田宣洋：「航技研二次元風洞の改修（制御関連について）」、NAL SP-42,1999, PP.45-55
- 3) 空気力学部：「大型極超音速風洞の計画と構造」、NAL TR-1261,1995
- 4) 外立政隆、野田順一、清水福寿：「航技研1m×1m吹出式超音速風洞運転制御装置におけるデジタル技術の導入と若干の改良について」、NAL TM-404,1980
- 5) 浜本滋、渡辺光則、楯篤志、酒井謙二："Improvement of the nozzle of the Supersonic Wind Tunnel", 94th Supersonic Tunnel Association International (STAI)、2000年9月

表1 超音速風洞の性能

風洞型式	吹出式風洞
測定部寸法	1 m × 1 m
マッハ数	1.4 ~ 4.0
レイノルズ数	2 ~ 6 × 10 ⁷ (1/m)
流量	280 kg/s
通風時間	最大40秒
完成年度	1961年度
改修年度	1999年度

表4 圧力制御装置の主な仕様

圧力設定範囲	150kPa ~ 1600kPa
圧力設定精度	集合胴設定圧力の±1.0%
圧力安定度	平均集合胴圧力の±0.1%
圧力スweep	1.0kPa/s ~ 30.0kPa/s
制御方式	デジタル制御 FF+PI制御

表2 集合胴部の改修前後の寸法比較

	改修前(m)	改修後(m)
整流部内径	φ4.00	φ3.86
集合胴全長	9.39	14.00
1) 流入胴・ 拡散胴	(3.99)	(4.00)
2) 整流部	(3.30)	(7.10)
3) 縮流部	(2.40)	(2.90)
縮流部	改修前(m)	改修後(m)
1) 入口径	φ4.00	φ3.86
2) 出口寸法	幅1×高さ2.2	幅1×高さ1.5
3) 縮流比	12.6	11.7

表3 マッハ数2.0の調圧弁油圧シリンダ速度

	改修前(%/s)	改修後(%/s)
開方向	16.3	18.6
閉方向	1.2	17.3

超音速風洞 Supersonic Wind Tunnel

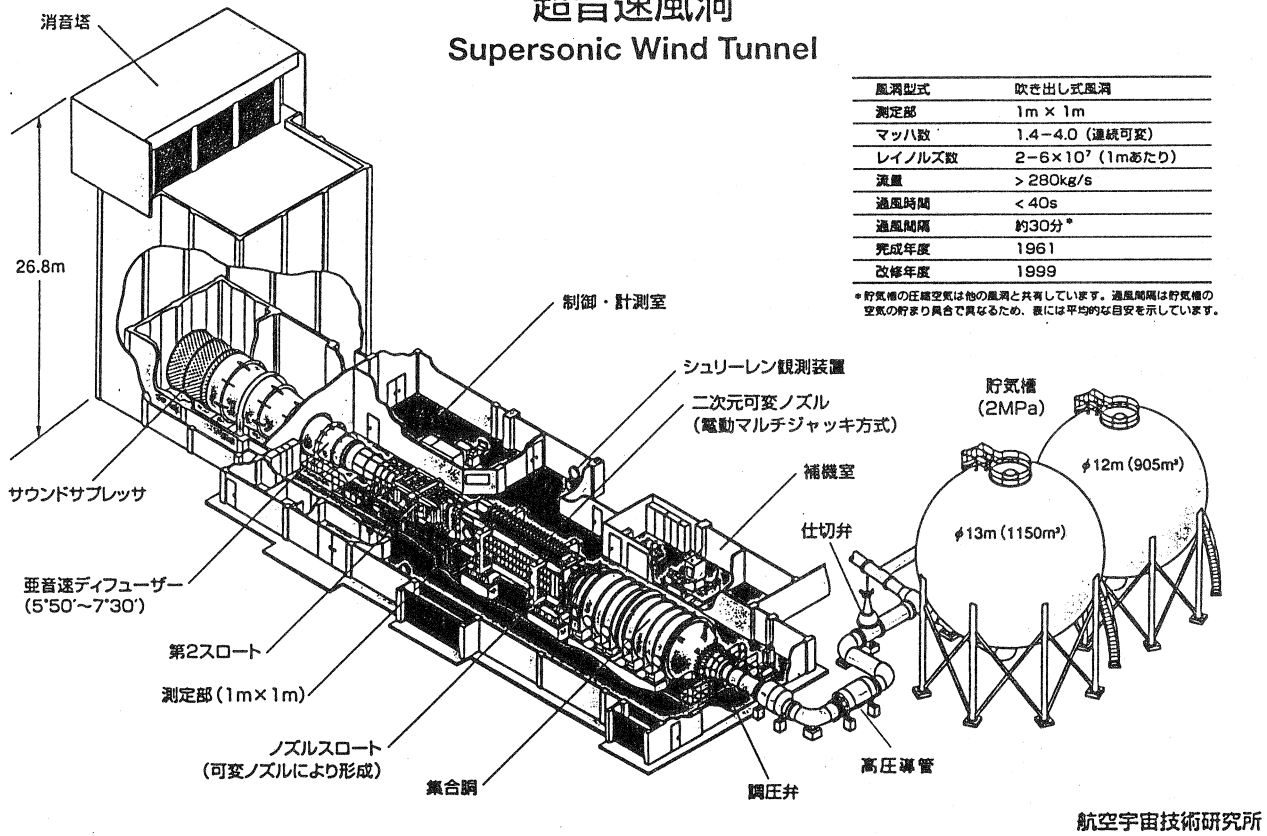


図 1 風洞全体図

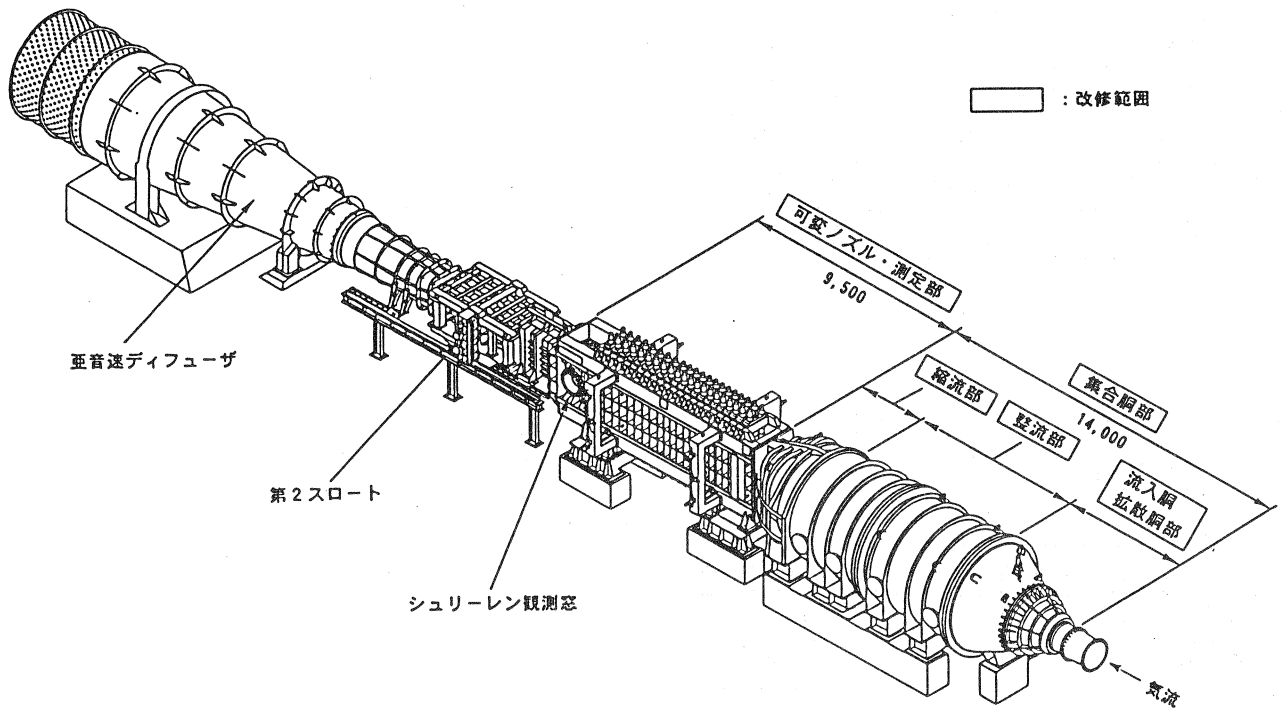


図 2 風洞本体図

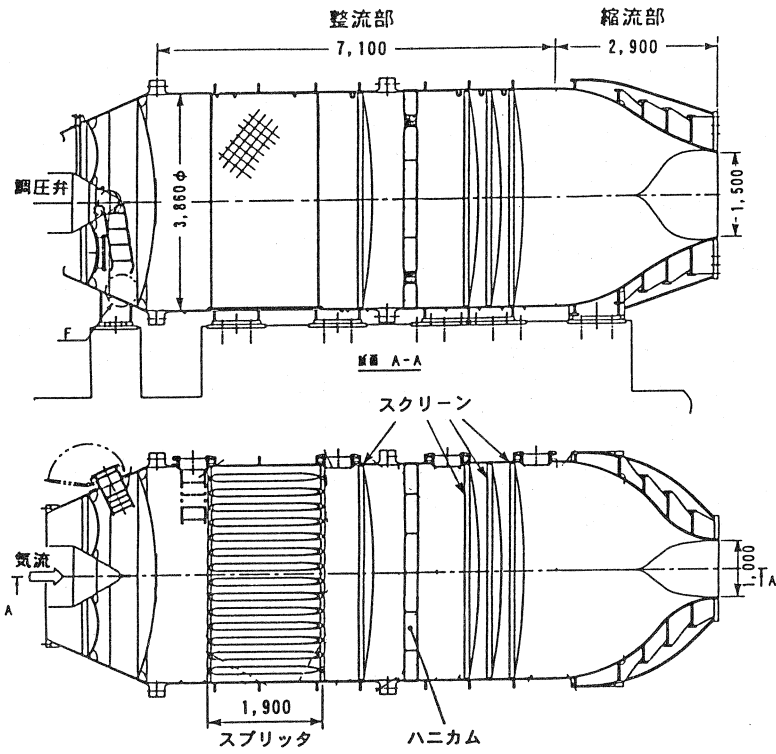


図3 集合胴部 断面図

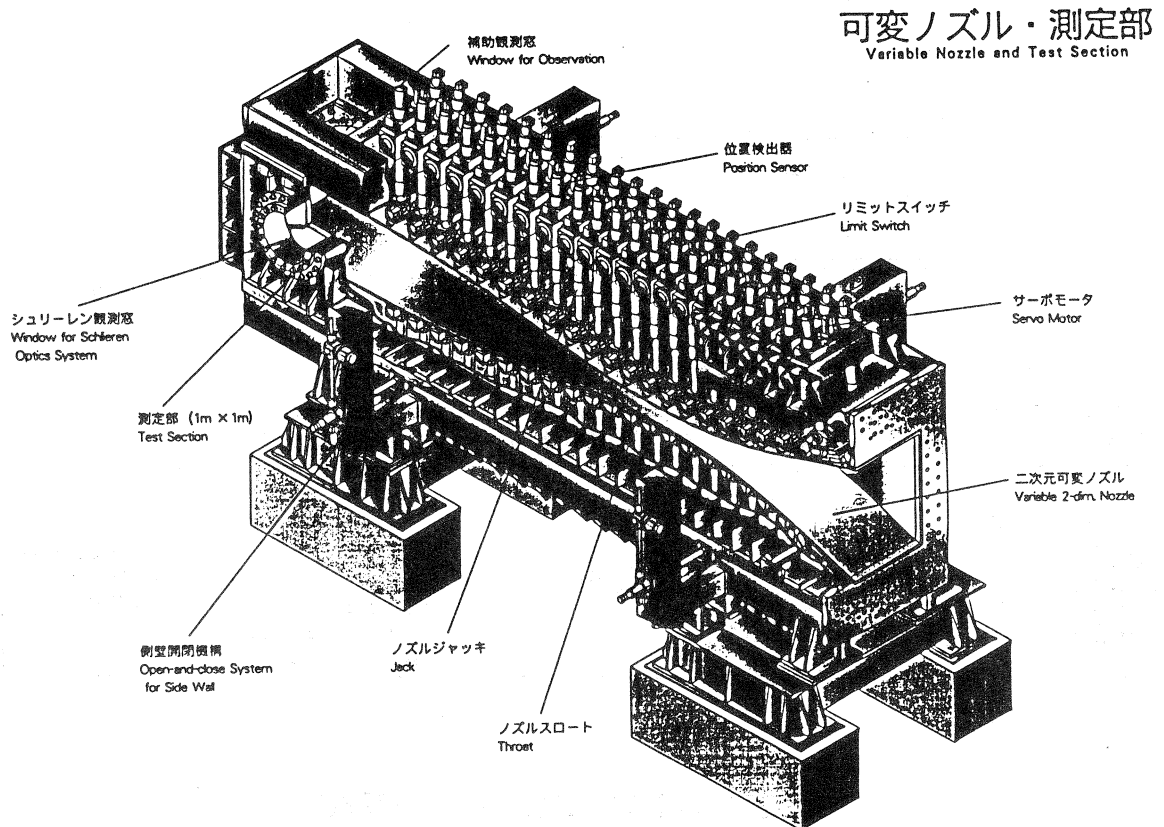


図4 可変ノズル・測定部 全体図

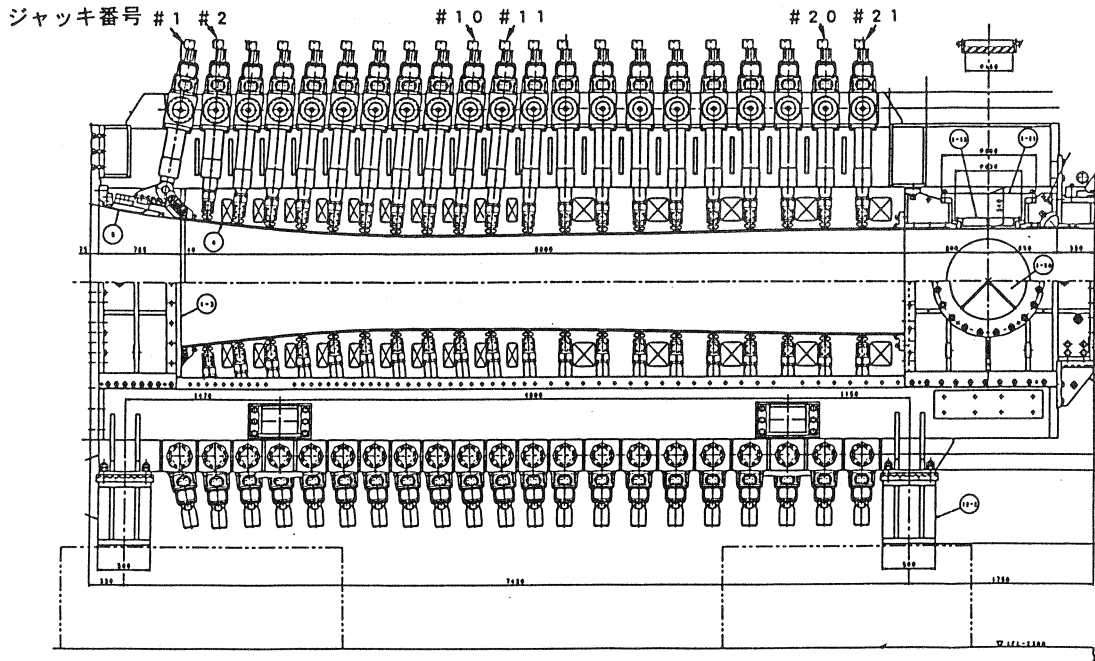


図5 可変ノズル・測定部 側面図

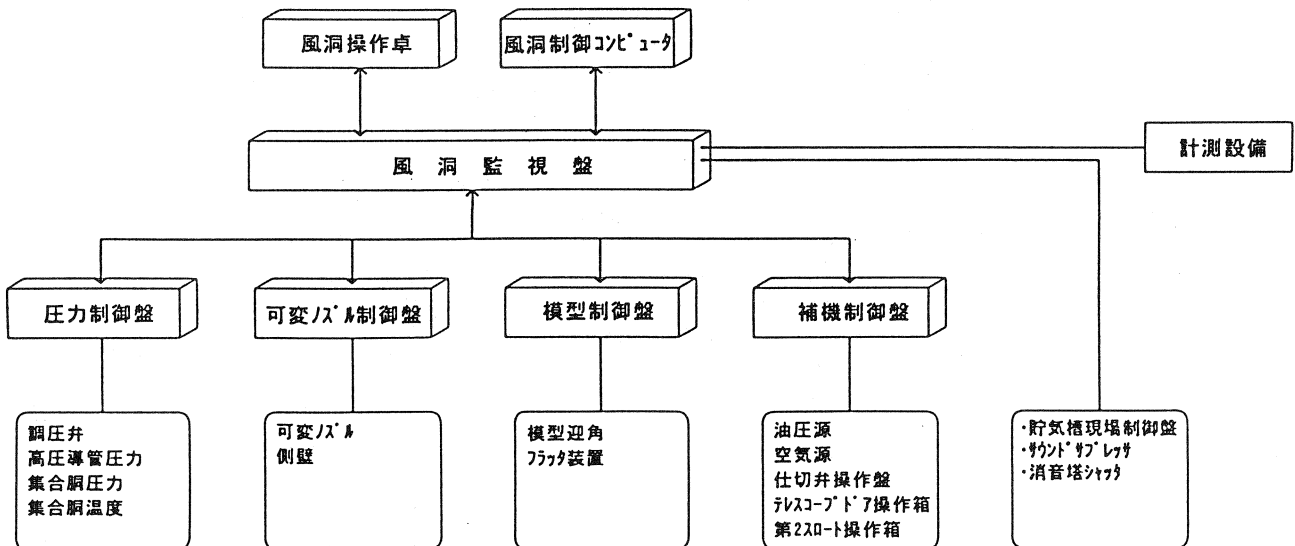


図6 風洞運転制御システム構成図

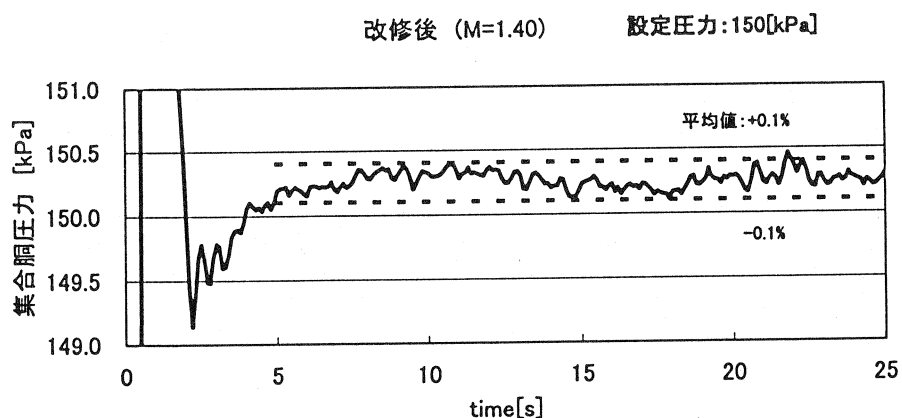
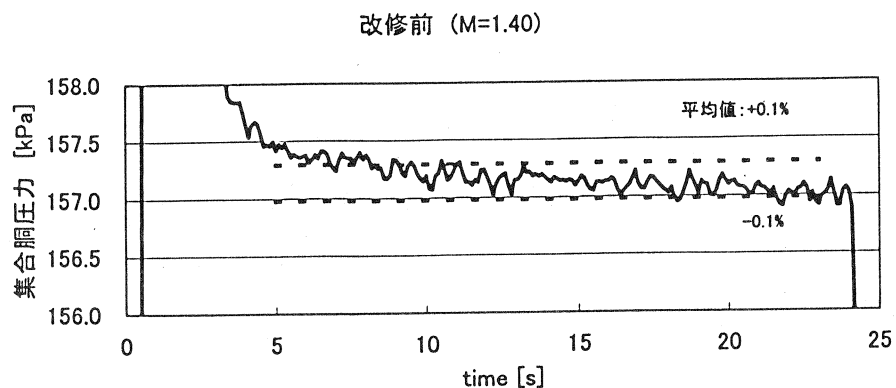


図 7. 1 M = 1. 4 の集合胴圧力時間変化

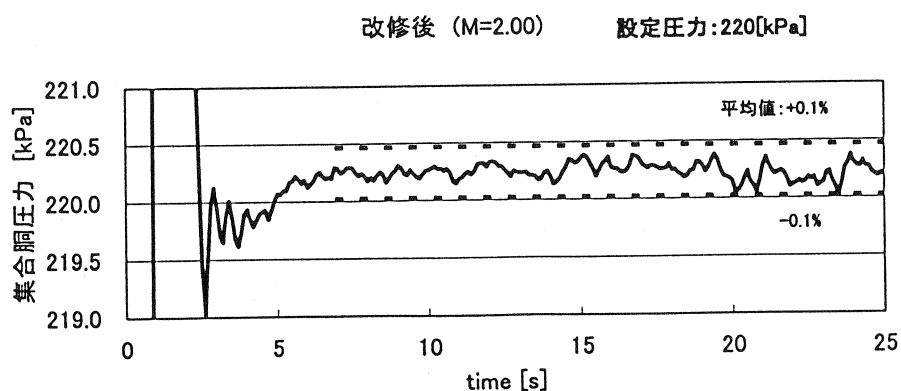
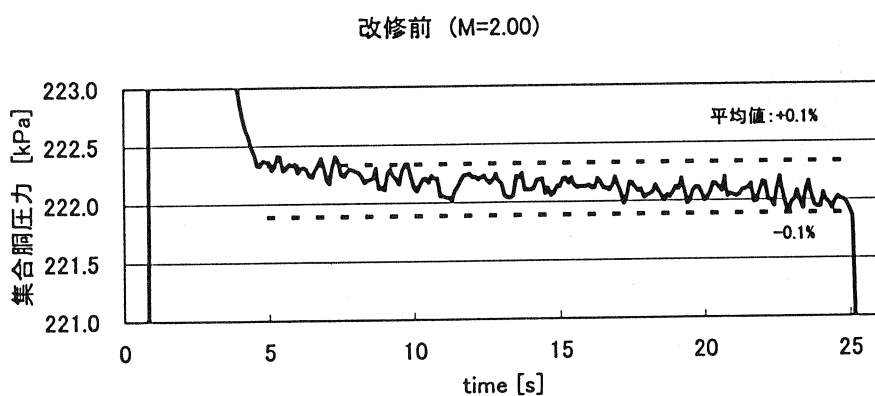


図 7. 2 M = 2. 0 の集合胴圧力時間変化

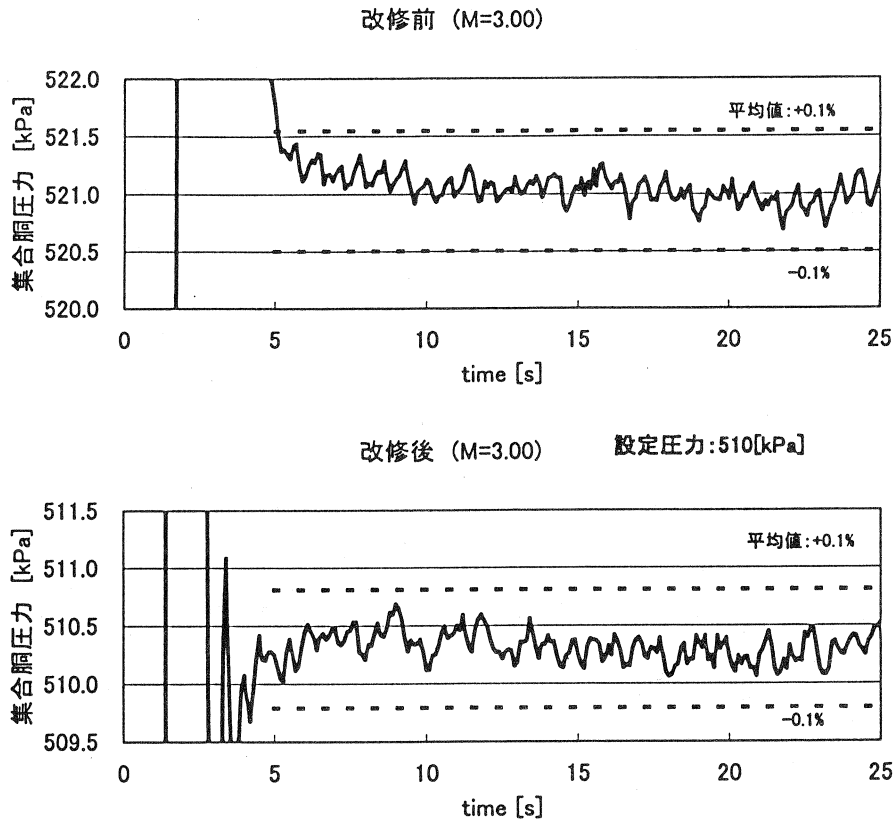


図 7. 3 M = 3. 0 の集合胴圧力時間変化

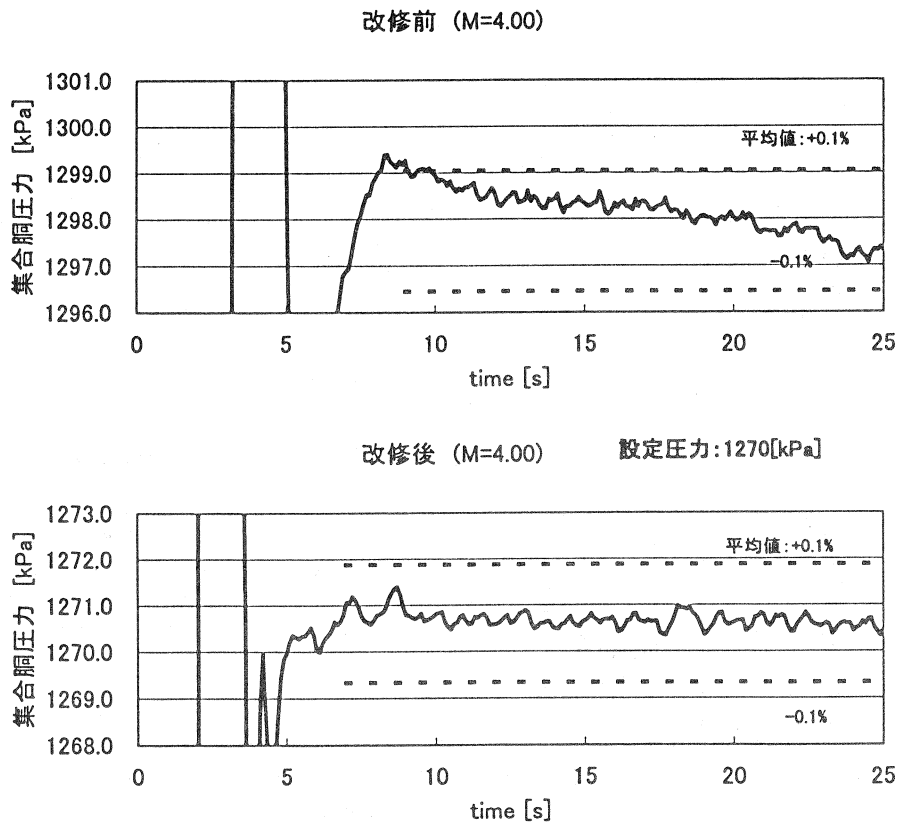


図 7. 4 M = 4. 0 の集合胴圧力時間変化

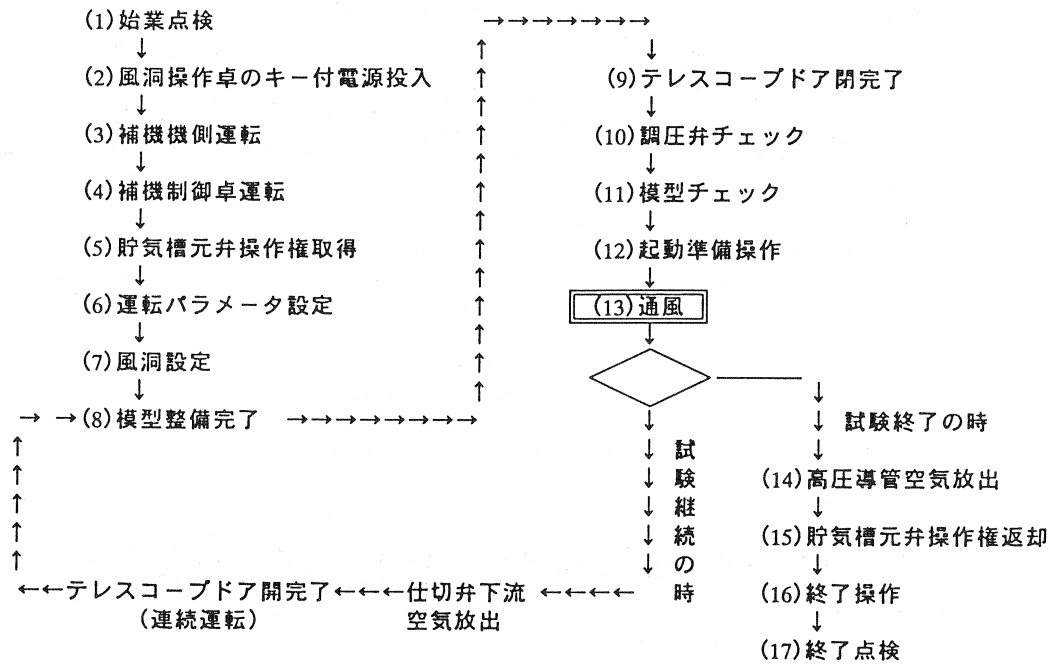


図8 風洞運転フロー

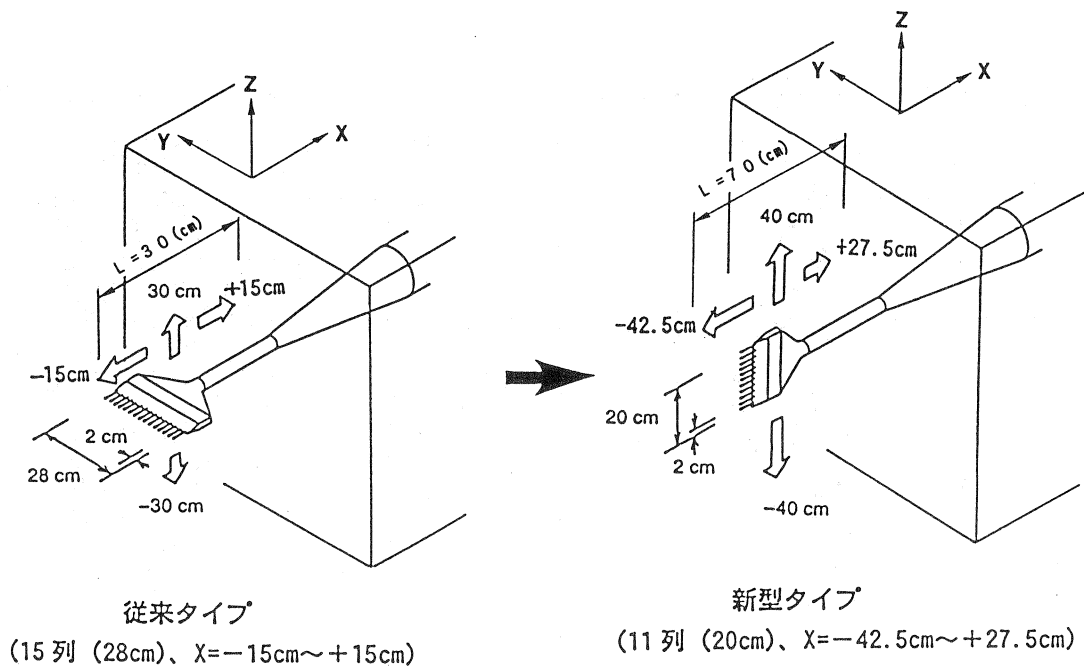


図9 気流計測櫛型総圧管プローブ

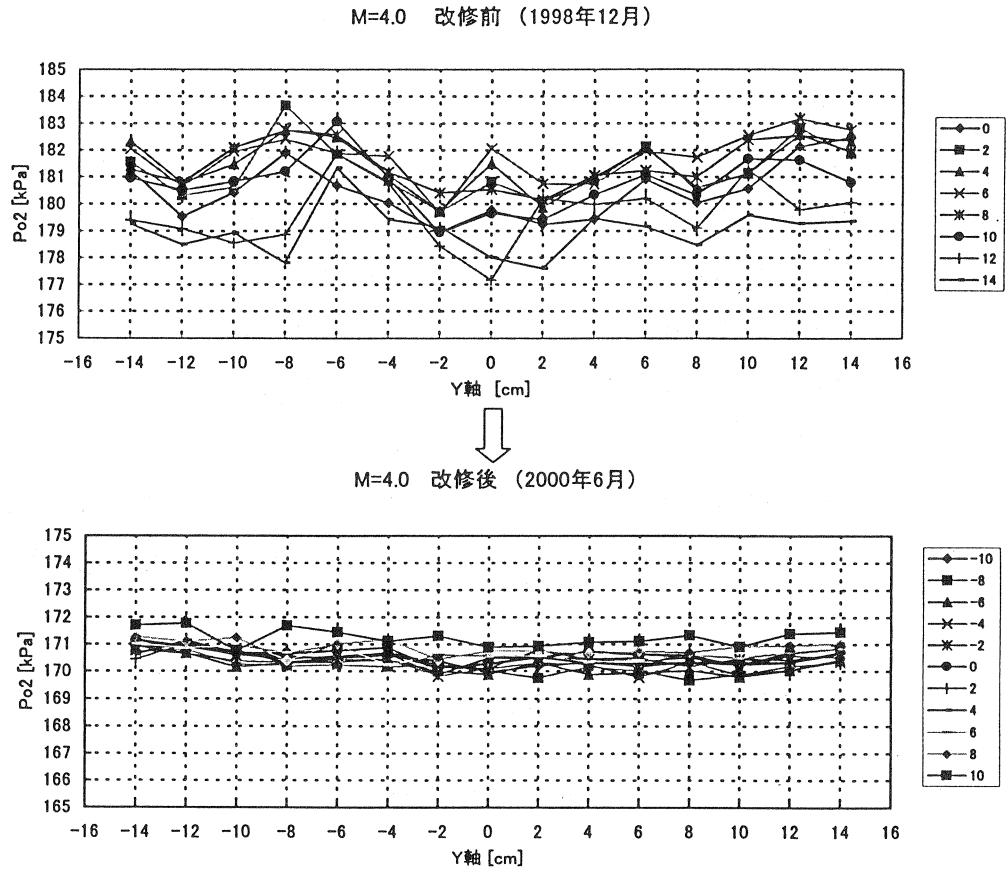


図 10 横方向総圧測定結果の比較 (M=4.0)
(測定部中心位置 X=0)

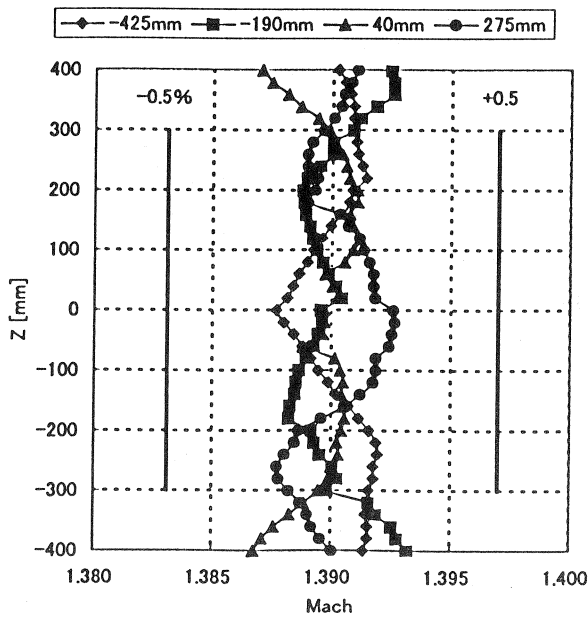


図 11.1 断面マッハ数分布 (M=1.4)

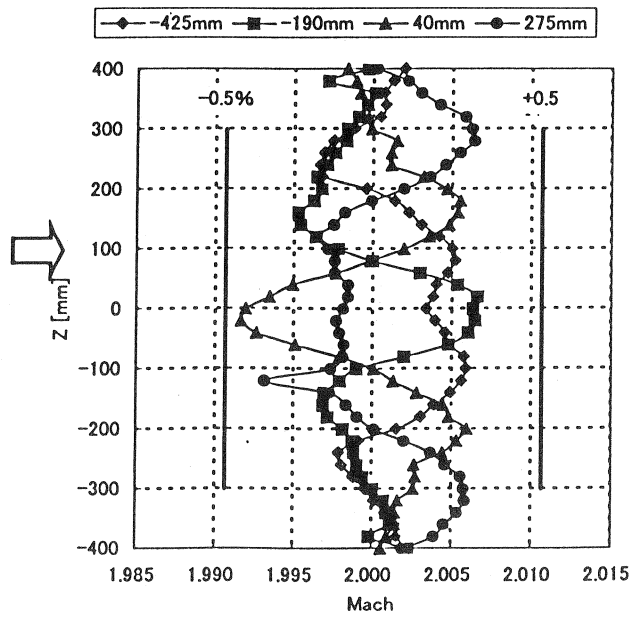


図 11.2 断面マッハ数分布 (M=2.0)

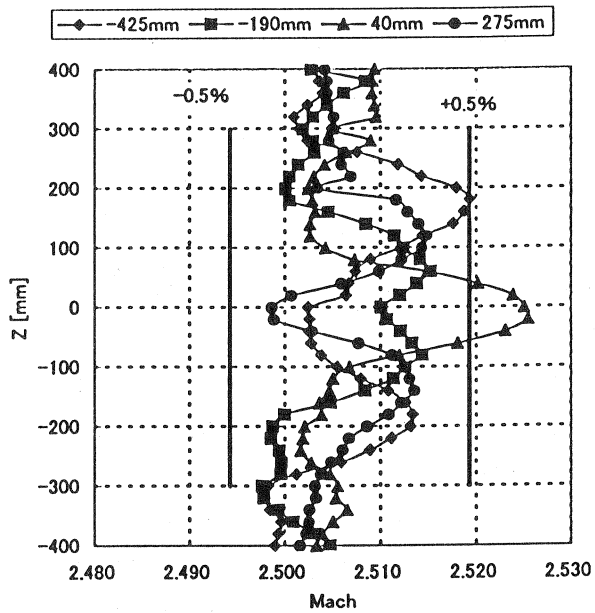


図 11.3.1 断面マッハ数分布 (M=2.5)

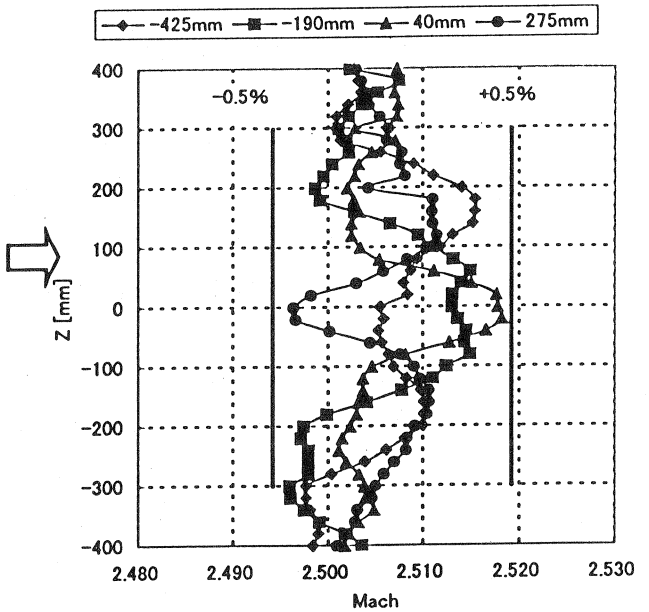


図 11.3.2 断面マッハ数分布 (M=2.5)
(#21 ジャッキ 0.3mm 押し下げ)

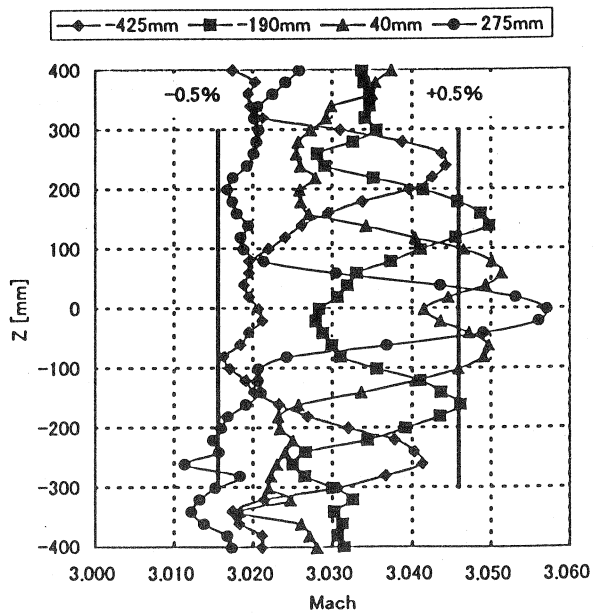


図 11.4.1 断面マッハ数分布 (M=3.0)

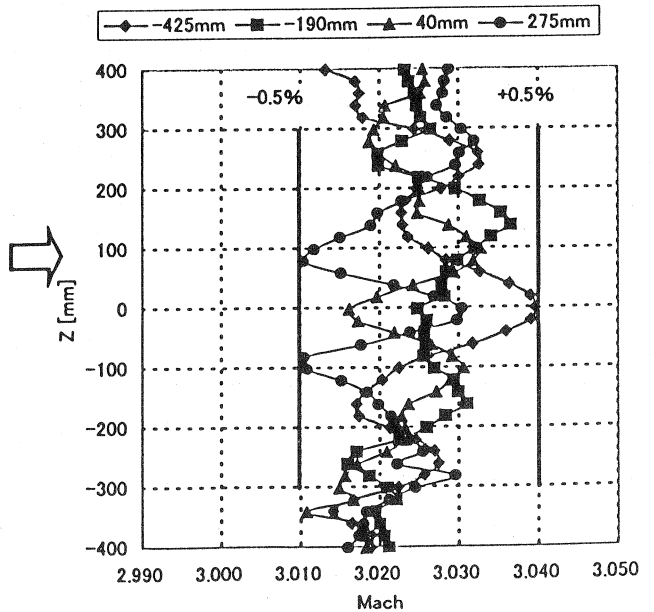


図 11.4.2 断面マッハ数分布 (M=3.0)
(#20 ジャッキ 1.31mm 押し下げ)
(#21 ジャッキ 0.40mm 押し下げ)

付録：運転フローの各項目の要点（図 8 参照）

	項目	要点
(1)	始業点検	風洞本体及び補機まわりの異常の有無を確認する。
(2)	風洞操作卓のキー付電源投入	風洞操作卓の電源が投入されると風洞制御系システムのすべてに電源が投入される。
(3)	補機機側運転	電源投入後補機（油圧ポンプと空気圧縮機）の機側運転を行い補機の動作点検を行う。
(4)	補機制御卓運転	補機動作点検に問題がなければ以後制御室の風洞操作卓で補機制御卓運転を行う（再起動する）。補機制御卓運転以降は、風洞の故障・異常等がない限り、通風が全て終了するまで、オペレータは基本的に図 8 に示す運転フローに従った制御卓でのオペレーションとなる。
(5)	貯気槽元弁操作権	貯気槽元弁操作権を超音速風洞側にするように遷音速風洞制御室（貯気槽管理者）へ連絡し取得する（複数の風洞で貯気槽を共有しているため）。
(6)	運転パラメタ設定	調圧弁シミュレーション、気流条件、模型姿勢及び時刻設定等を行う。
(7)	風洞設定	所定マッハ数に対する可変ノズルと第 2 スロートの形状設定、サウンドサプレッサの開／閉設定及び消音塔シャッター開設定を行う。
(8)	模型整備完了	原則として実験担当者が行う。
(9)	テレスコープドア閉完了	原則として実験担当者が行う。
(1 0)	調圧弁チェック	通風前の所定マッハ数における調圧弁動作をシミュレーションし、動作が正常であることを確認する。風洞の連続運転の場合、調圧弁のチェックは最初の通風前に 1 回行うのを原則としている。

	項目	要点
(11)	模型チェック	通風中の模型動作のシミュレーション及び模型オフセットデータ取得等を行う。
(12)	起動準備操作	起動準備操作を行うことによって、調圧弁上流部の仕切弁及び元弁が開き、高圧導管への高圧空気充填、模型姿勢の起動位置セット等が自動的に行われる。本風洞では、貯気槽圧力が通風に必要な所定の圧力に達した時点で起動準備操作が完了となる。
(13)	通風	通風操作において、オペレータは最初に風洞計測担当者に対し計測準備完了の確認を行う。次に貯気槽管理者への通風開始の連絡を行い承諾を得た後、インターロック完了の確認及び風洞制御卓上にある風洞起動操作可ランプの点灯の確認を行う。最後に通風開始のアナウンスを行い風洞起動スイッチを入れる。通風が終了するとシーケンスに従い自動的に高圧風路の元弁及び仕切弁が閉まる。その後ユーザに試験継続または試験終了の判断を問う。テレスコープドアを開ける必要がある場合には、安全面から仕切弁下流の高圧空気は放出するものとしている。
(14)	高圧導管空気放出	試験終了の場合または昼の休憩時前には、高圧導管空気放出を行う。この操作は、貯気槽元弁と調圧弁間の高圧空気を完全に放出する操作である。
(15)	貯気槽元弁操作権返却	高圧導管空気放出が終了後貯気槽元弁操作権返却を行う。
(16)	終了	終了操作は、風洞設定リセット操作、補機停止操作及び風洞制御卓電源断操作である。風洞設定リセット操作を行うと、可変ノズル及び第2スロートがマッハ数1.4の基準位置に戻る。またサウンドサプレッサ及びシャッターは閉じる。補機停止操作及び風洞制御卓電源断操作は運転手順の(4)及び(2)の反対の操作である。
(17)	終業点検	(1) 始業点検とほぼ同様の点検内容である。