

NAL 1m×1m 超音速風洞気流特性試験結果(第2報)

鈴木教雄、渡辺光則 (航技研)

Flow Quality Test Results of NAL 1m Supersonic Wind Tunnel(2nd Report)

Norio SUZUKI, Mitsunori WATANABE(NAL)

概要

1999 年から行われた、NAL 1m×1m 超音速風洞の改修工事及び改修後の気流特性については 2001 年 5 月の第 66 回風洞研究会議で工事の概要及び主要なマッハ数 6 点に対するマッハ数分布計測結果が報告されている。航技研ではその後も詳細な気流特性確認作業を継続し、通風中に発生するシュリーレン窓の段差がマッハ数分布に悪影響を及ぼしていることを発見、これを修正し、現在では常用される全てのマッハ数について要求値 $\Delta M_{\max} < \pm 0.5\%$ が達成されていることを確認した。

さらに AGARD-B 標準模型による気流偏向特性試験の結果、気流の傾きは全マッハ数範囲で要求値の $\pm 0.1^\circ$ 以内であること、側壁付近で実施した総圧変動計測予備試験の結果、気流の乱れは改修前に比べ、オーバーオールの変動で約 $1/3$ に低減していることを確認した。

1. はじめに

図 1 に示すように 2001 年 5 月の報告時点で主要なマッハ数については、ノズル形状の修正を行うことで要求値を満足していることが報告されている。しかしながら、ノズル形状が各マッハ数に対して独立に決められていること、 $M=2.5$ ではノズル形状修正が必要であったことから、少なくとも $M=2.0$ 以上については、更に小さい刻みで分布を確認する必要がある。

また、横方向の気流の傾きと気流の乱れについては未確認であったことから、2001 年度に何回かに分けて確認試験を進めてきた。本稿ではこれら一連の試験結果について報告する。

2. 測定部マッハ数分布の詳細計測結果

マッハ数分布の 2 次元性は非常に良いということから、200mm 幅の 11 列櫛型ピトー管を用いて、X-Z 面内のマッハ数分布を $M=1.4 \sim 2.3$ の範囲で $\Delta M=0.1$ の刻みで計測を行った。

図 2 に計測に用いた 11 列櫛型ピトー管を図 3 に計測結果を示す。この結果、 $M>2.0$ についてはノズル形状の修正が必要と分かり、これにより要求値を満たすことができた。図 4 に代表例として $M=2.3$ の改善データを示す。

問題は当然要求を満たすはずと思われた $M=1.6$ が大きく外れていたことである。図 5 に示したように、窓中心から後方 275mm のデータに明らかにノズル形状以外の要因によると思われるマッハ数分布の乱れが見られる。

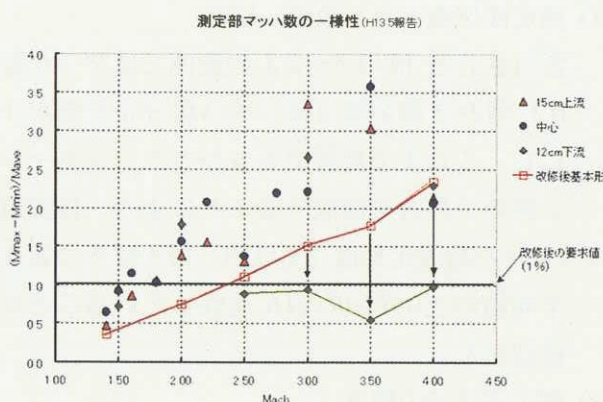


図 1 測定部マッハ数の一様性(2001.5 報告)

この原因を究明するために、図6に示す600mm幅の櫛型ピトー管によりシュリーレン窓中心位置でY-Z面内のマッハ数分布を計測した。図7に $M=1.6$ の計測結果を示す。左右それぞれ円弧状にマッハ数の高い部分（総圧の低い部分）があり、これがマッハ数分布を悪化させている原因であることがわかる。これはシュリーレン窓ガラスの先端付近から発生する斜め衝撃波の影響と考えると、位置、形状共に説明できるが、窓取付部の段差は5/100mm程度と小さく、しばらく要因を特定できなかった。

図8はその後レーザ変位計を用いて計測した通風中のシュリーレン窓ガラスの変位量である。この結果、通風中の窓の内外の圧力差によって、0.3mm程度内側に変位し強い衝撃波を発生させることが明らかになり、ポッティング材の材質を変えることによりこの変位を抑えることに成功した。図9はこの改修後の $M=1.6$ 、 1.4 のY-Z面内のマッハ数分布であり、円弧状の部分がほとんどなくなっていることがわかる。

図10は現在のNAL 1m超音速風洞の測定部マッハ数の一様性を示すデータであり、改修後の要求値 $\Delta M_{\max} < \pm 0.5\%$ を満たしていることがわかる。

3. 基準マッハ数と測定部平均マッハ数

図11は通常のデータ処理に用いる基準マッハ数（集合胴総圧と測定部壁圧から求めたマッハ数）と測定部平均マッハ数（櫛型ピトー管総圧 P_{02} と測定部壁圧から求めたマッハ数の平均値）を比較したものである。

両者には $\pm 0.2\%$ の差があるが、現在はこの差を補正せず、誤差として扱っている。測定部平均マッハ数は上下600mm、前後700mmの広い範囲の平均値であるのに対し、現実の問題になるのは模型周囲の狭い範囲の平均値であり、これを代表値とするにはまだ検討の余地があると考えられている。

4. 気流偏向特性試験結果

図12はAGARD-B標準模型の試験結果を基に推定した上下方向及び左右方向の傾きである。改修前に比べ、特に上下の偏向が大きく改善され、要求値の $\pm 0.1^\circ$ 以内を達成している。

左右方向については、全てのマッハ数で約 0.07° の偏向が見られるが、これは模型支持装置が測定部側壁に対し約 0.07° の傾きを持っていることに符合している。将来改善すべき点の一つである。

5. 総圧変動特性予備試験結果

今回実施した改修の目的の一つに気流の乱れ低減があり、これを実現するために集合胴の整流部の長さが、約4m延長され7.1mとなり消音スプリッタと整流用ハニカムが追加された¹⁾。

この効果を確認するために総圧変動データを取得している。図13は2001.6月に実施した予備試験の結果で測定部側壁から120mmの位置に総圧プローブを取り付け、キュライトセンサーにより計測した結果の一部である。

詳細は風洞中心位置での計測結果を踏まえ別途報告する予定であるが、オーバーオールの変動成分が改修前の約1/3に低減されており、改修が非常に効果的であったことが確認できた。

6. まとめ

1m×1m超音速風洞の改修工事後、気流特性確認試験を進め、以下の成果を得た。

(1) 測定部気流マッハ数の一様性

常用される $M=1.4\sim 2.3$ の範囲ではマッハ数0.1刻みで測定部気流マッハ数分布を明らかにし、これまで把握できなかったシュリーレン窓の不具合を回収することにより、目標値（マッハ数設定精度1%以内、最大ばらつきが平均値の $\pm 0.5\%$ 以内）を達成していることを確認した。

(2) 測定部気流の傾き

AGARD-B標準模型による試験の結果、

M=1.4~3.0 の範囲では要求値 $\pm 0.1^\circ$ 以内を達成していることを確認した。また左右方向の傾きは主に模型支持装置のアライメント誤差であることを明らかにした。

(3) 基準マッハ数と測定部平均マッハ数

両者には 0.2% の差があることが分かった。データ処理上この差をどう扱うかは今後の課題である。

(4) 測定部の総圧変動

予備的な試験結果ではあるが、風洞改修により総圧変動が格段に小さくなっていることが確認できた。

一連の気流特性確認試験を進めるに当っては、外立政隆氏(JAST: 航空宇宙振興財団)、伊藤正剛氏、西島寛典氏(IHI エアスペースエンジニアリング)の各氏に多大なご協力をいただいた。関係各位に深甚なる感謝の意を表する。

参考文献

1) 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

2) 渡辺光則、楯篤志、浜本滋、酒井謙二、外立政隆:「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」、NAL SP-51, 第 64 回風洞研究会議論文集

3) 酒井謙二、渡辺光則、浜本滋、楯篤志:

“Improvement of 1m x 1m Supersonic Wind Tunnel of National Aerospace in Japan”、96th Supersonic Tunnel Association International(STAI)、2001 年 9 月

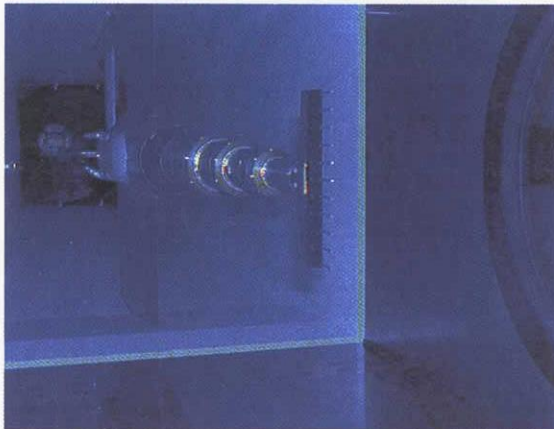


図2 11列櫛型ピトー管概

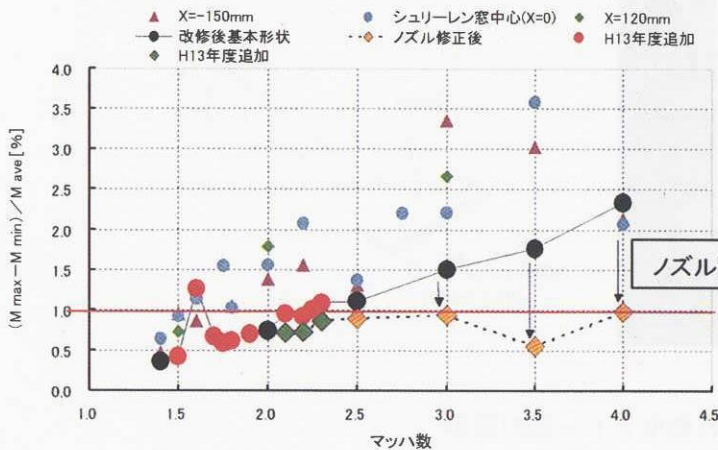
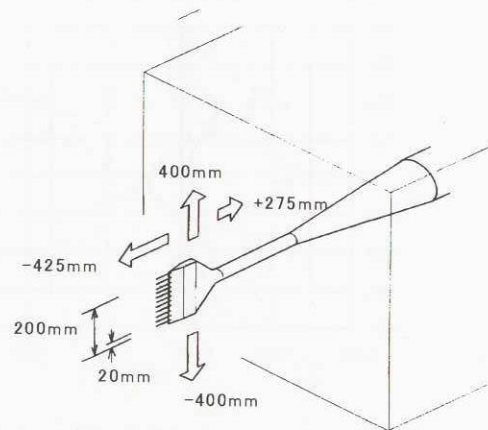


図3 測定部マッハ数の一様性 (追加計測結果)

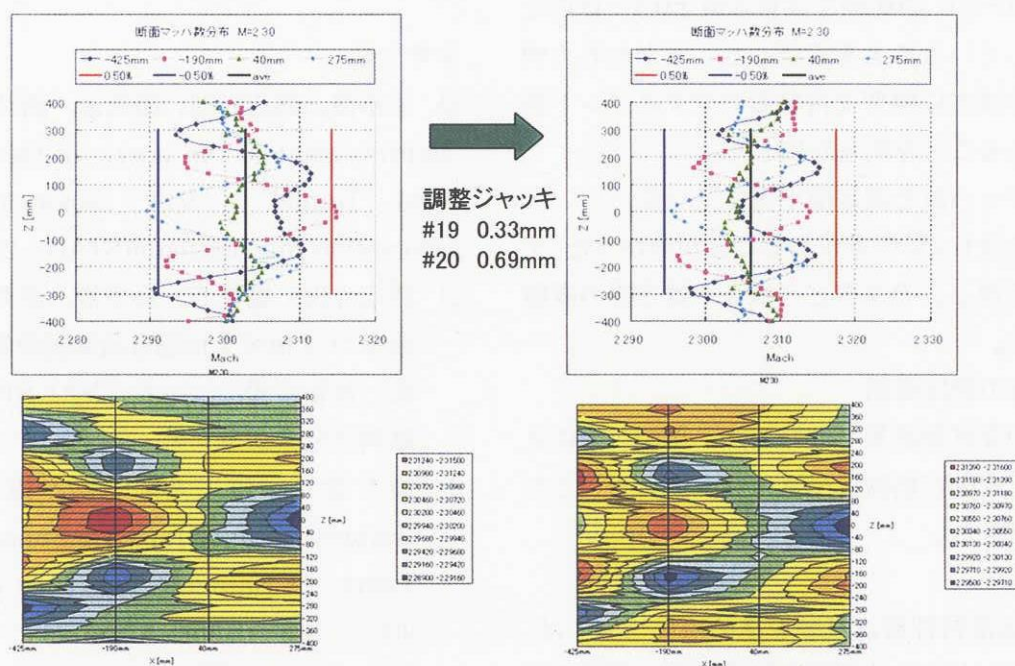


図4 ノズル形状修正によるマッハ数分布の改善 (M=2.3)

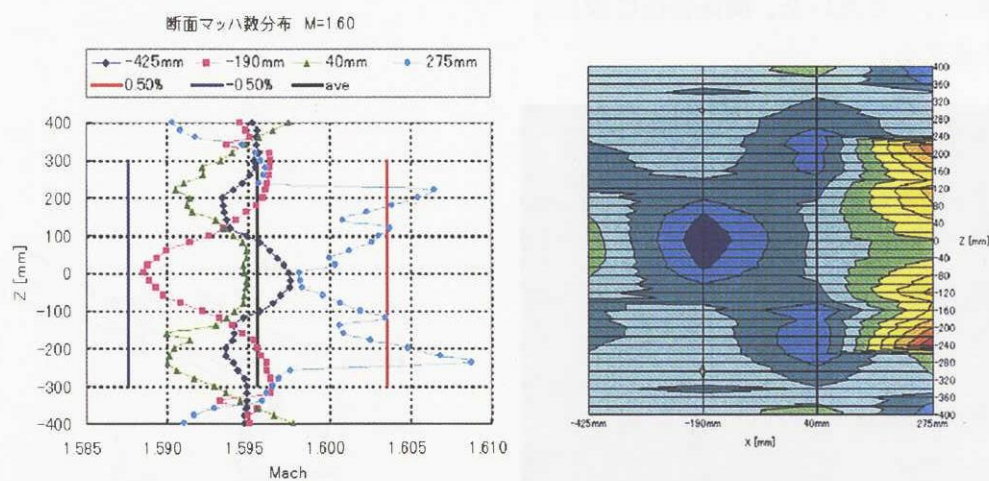
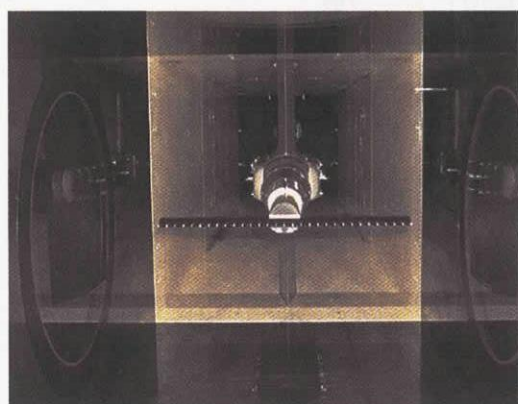


図5 M=1.6 のマッハ数分布の不具合



風洞内へのセット状況

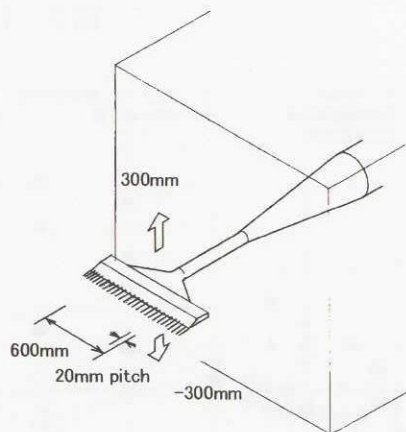


図6 31列楕型ピトー管の概要

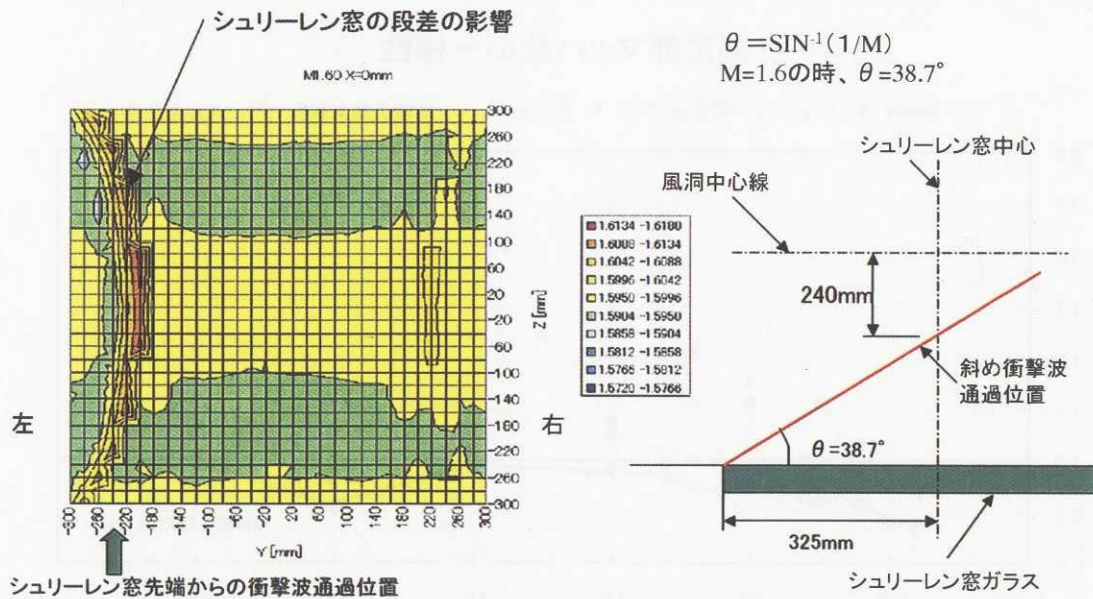


図7 M=1.6 シュリーレン窓中心での Y-Z 断面マッハ数分布

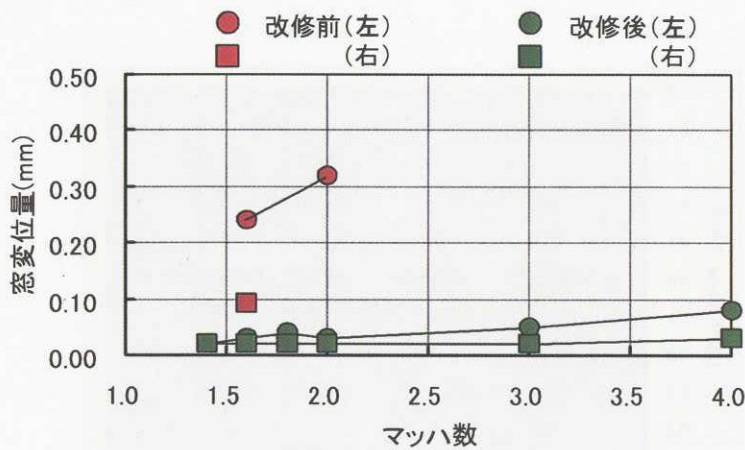


図8 通風中のシュリーレンガラス窓の変位量

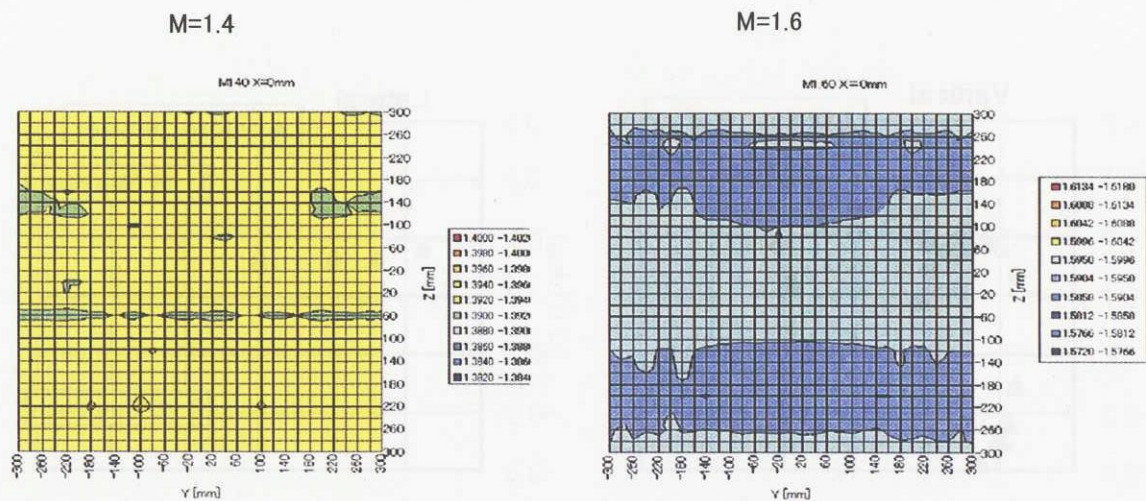


図9 シュリーレン窓改善後の Y-Z 断面マッハ数分布

測定部マッハ数の一様性

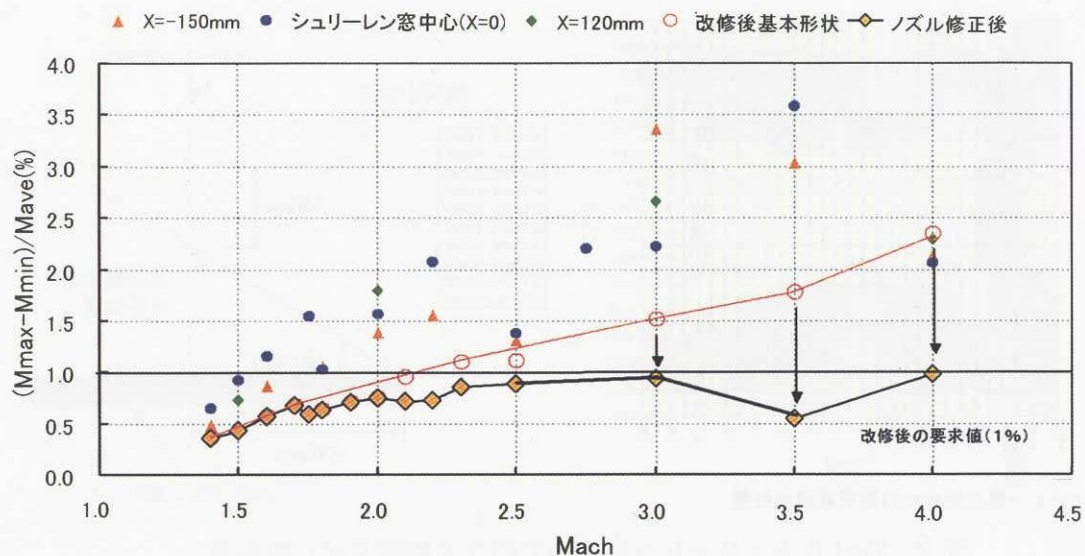


図 10 測定部マッハ数の一様性 (2002 年 4 月末現在)

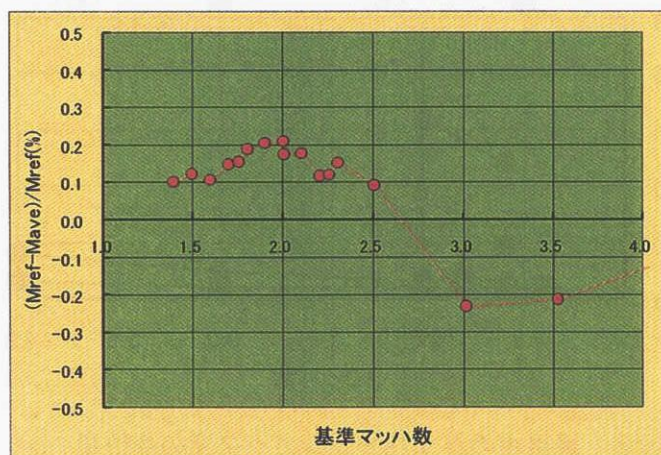


図 11 基準マッハ数と測定部平均マッハ数

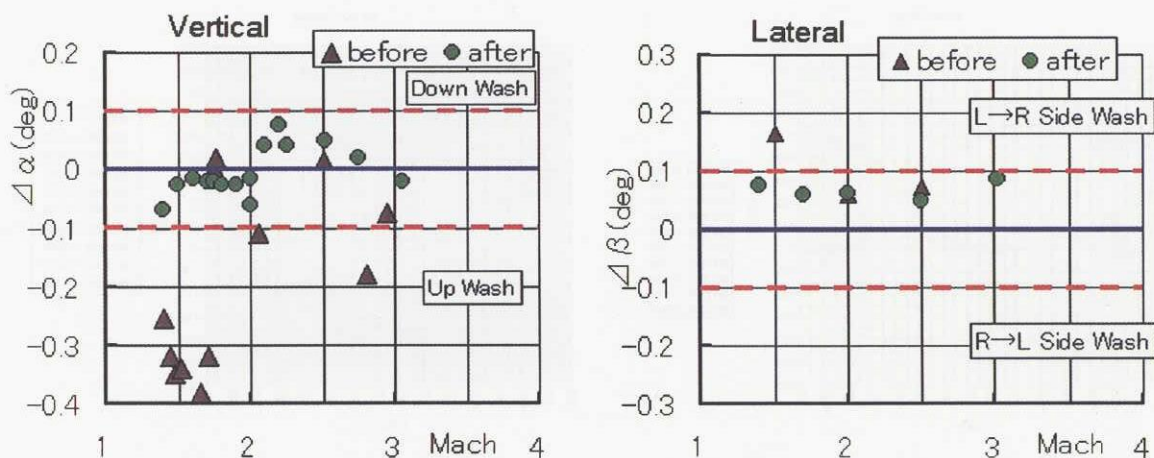


図 12 AGARD-B 模型による気流偏向特性試験結果

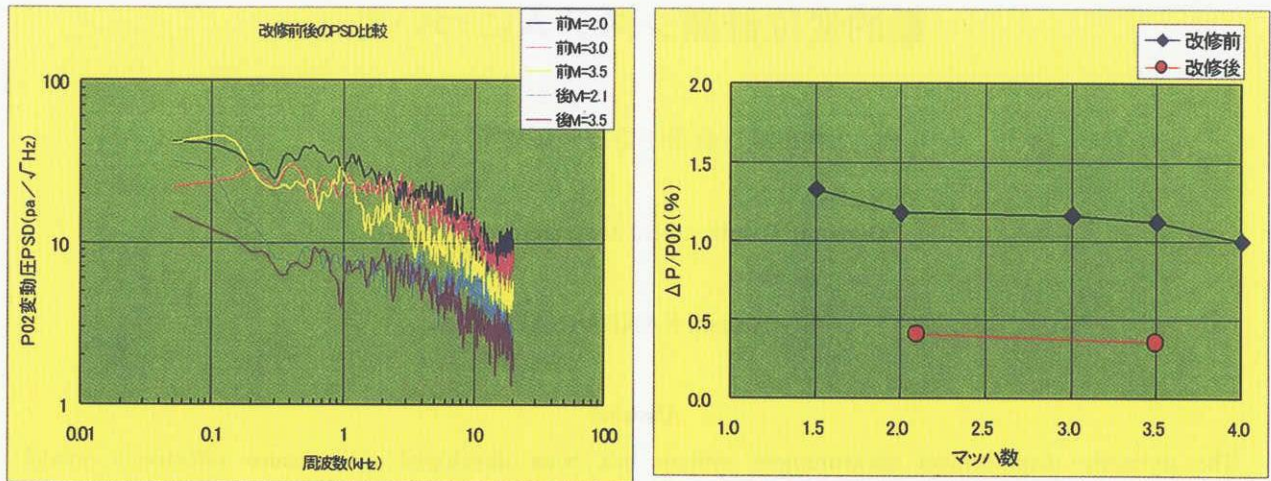


図 13 超音速風洞改修前後の総圧変動特性比較
(改修後のデータは側壁から 120mm の位置での予備試験結果)