

大型低騒音風洞の概要と15年の歩み

近藤 善彦
研究開発推進室
(担当部長(風洞技術))

井門 敦志
同
(風洞技術センター 所長)



こんどう よしひこ



いど あつし

はじめに

日本百名山の一つ、雄々しい伊吹山とマザーレイク琵琶湖に囲まれた米原駅の広大なヤード跡地に、世界にその優秀性を誇る大型低騒音風洞が平成8年竣工しました(図1)。以来、早15年の歳月が流れ、竣工当時はヤード跡地で両側を線路に挟まれた陸の孤島状態で、ポツンと寂しく建っていた大型低騒音風洞にも、現在では新国道8号線に直接アクセス可能な新しい正門ができました。また、お隣にはヤンマー中研やフジテック本社工場や研究棟が次々と建ち、ヤード跡地も整備事業が着々と進行し、米原駅舎ビルも新しく建ち変わり、米原町も町村合併で米原市へと大きく脱皮するなど、竣工当時とは隔世の感があります。ここでは、大型低騒音風洞の15年間の歩みについてさまざまな観点から振り返ってみます。



図1 大型低騒音風洞

風洞の概要

風洞とは、人工的に作った流れにより空気の流れに関連する各種の試験を行う設備です。風洞は、もともと航空機開発のために作られた設備で、現在では航空機以外の分野でも使用されています。

大型低騒音風洞の平面図を図2に、諸元を表1に示します。大型低騒音風洞では、鉄道車両の空力騒音や空気力特性の試験をすることが可能ですが、その最大の特長は、名前が示す通り、空力騒音試験のために風洞自体が低騒音であることです。風洞の低騒音化のために、送風機の騒音を遮断する消音器の設置を始め、様々な工夫がなされています。一方で、地面付近を走行する細長い鉄道車両の空力特性の試験のために、境界層吸込装置や移動地面板のような地面模擬装置が装備された細長い測定部を有しています。鉄道車両の技術開発のために作られた大型低騒音風洞での試験は、車両の高速化の際に問題となる空力騒音の研究、車両の安全走行のための横風が車両に及ぼす空気力の研究などに大きく貢献してきました。

表1 大型低騒音風洞諸元

項目	形式および性能	
風洞形式	ゲッチング型水平単帰還方式	
測定部形式	開放型	密閉型
測定部寸法	幅3.0m×高さ2.5m	幅5.0m×高さ3.0m
測定部長さ	8m	20m
最高風速	400km/h	300km/h
縮流比	16:1	8:1
風速分布	±0.7%以下: 324km/h (90m/s) 時	±0.4%以下: 288km/h (80m/s) 時
乱れ度	0.2%以下: 360km/h (100m/s) 時	0.2%以下: 198km/h (55m/s) 時
暗騒音レベル	75dB (A): 300km/h (83.3m/s) 時	
主な計測装置	音響計測用マイクロホン ビームフォーミング式マイクロホン レイφ1m, φ4m パラボラ型指向性マイクロホン 楕円体收音装置φ1.3m	ターンテーブル付6分力天秤 吊線式6分力天秤 多点圧力計 模型内蔵型6分力天秤
主な付帯設備	無響室(幅20m×長さ22m×高さ13m) 無響室トラバーサ ターンテーブル付模型支持台車 流れの可視化装置(煙発生装置、照明装置、観測用ビデオ装置)	移動地面板(幅2.0m×長さ6.0m、~60m/s) 境界層吸い込み装置 後方ターンテーブルφ3m
全体寸法	全長: 94m、全幅: 42m、全高: 10m、風路長: 228m	
主送風機	直径5m、羽枚数: 動翼: 12枚、静翼: 17枚、回転数: 590rpm(最大) 主電動機: 7MW、三相誘導電動機	

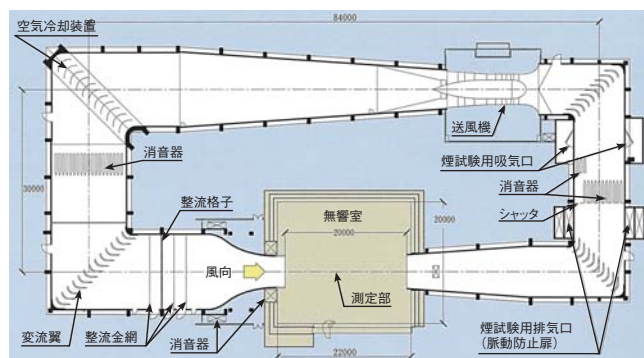


図2 平面図

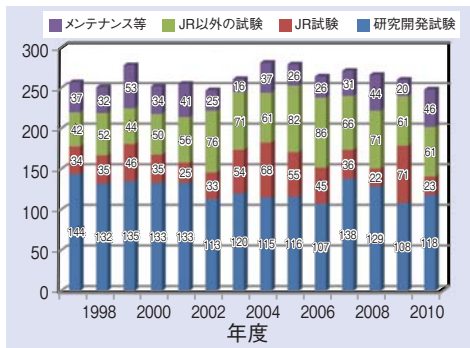


図3 年度別使用実績

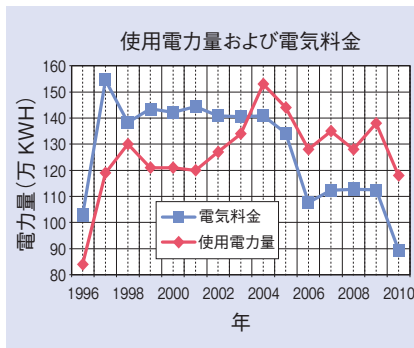


図4 使用電力量および電気料金

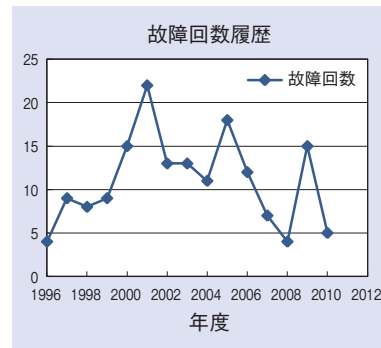


図5 故障回数

建設に至る経緯

鉄道車両の高速化に伴って増大する空力騒音を低減するには、低騒音風洞の建設が不可欠であるとの判断から、1990年(平成2年)所内に「大型低騒音風洞検討会」が設置され、国内外の低騒音風洞の調査や、基本開発要素の検討が行われました。また、1992年には東大名誉教授中口博先生や佐藤浩先生をはじめとする外部の有識者を招請し「高速低騒音風洞技術検討会」が設置され、大型低騒音風洞基本仕様書がまとめられました。こうした経緯の後、国際入札の結果、三菱重工が落札して1994年6月起工式が執り行われました。そして同時に風洞建設推進部が設置され、基本仕様書に沿って設備の詳細設計や計測機器の選定作業を進め、1996年6月竣工に至りました。

風洞の運営

米原は遠隔地のため、その運営形態について様々な検討が行われました。運営の裁量権を総研直轄とするか、あるいは総研と運営主体で構成する委員会とするか、また、減価償却を含む事業費や要員計画などの種々の事項について検討されました。その結果、地方行政および地域に対し総研の責任窓口機能を有する運営主体が設置されることに決定しました。また要員計画ではコンプライアンスも考慮した維持管理要員の確保(電気主任技師)や、風洞技術センターで直接受託が可能な風洞技術者の常駐などを考慮して運営体制が決定されました。これらの条件を考慮し平成8年4月米原の地に、総研職員6名(内1名国立在勤)と現地採用の技術系、事務系職員5名を含む計11名の要員で風洞技術センターが発足しました。

また、平成14年には組織が効果的に機能するように、ISO9000品質マネジメントシステムを導入し、試験管理、設備管理、事務管理に大変有効なツールとして効果を上げています。

一方で、地域との友好関係を築くため、滋賀県総合防災訓練の湖北の訓練拠点としての参加や、地元米原市商工会

活動や、地域の行事と合わせて高速試験車両の一般公開や、子育て応援隊としての活動など、積極的に地域活動に取り組んできました。

試験管理

メンテナンスなどの日数を除くと試験日は平均して年間220日確保できます。この内、50%を研究開発にあて、残りの50%をJR各社およびJR以外の試験として年間試験計画を策定しています(図3)。

ただし、試験依頼が大変多く、年間10日間程度の土日を試験日として対応しています。毎年1月の時点で次年度の年間計画を策定しますが、多い年で300日近くの試験依頼が入り計画策定に有り難い苦勞をすることが多々ありました。JR以外の試験を受け入れている理由は、鉄道関係だけの試験に限ることによる、ガラパゴス化を防ぐためと、年間の流動経費の一部を補填するためです。流動経費の中で一番大きな比重を占めるのが電気料金です(図4)。2001年頃より車両の高速化のための風洞試験の依頼が増えて、高風速試験が多く電気使用量は大幅に増加しましたが、電気料金は逆に減少しています。これは高度な送風機運転技術の習熟と夏季電力需要期に低風速試験を計画することなどで、使用料金の節減を果たした結果です。2006年頃から列車の横風安全試験など、低風速の試験依頼が増えたことにより使用量が減っています。

設備管理

年度末には、毎年2週間程試験を入れずに定期点検を実施しています。このような予防処置を講じて、年平均10件程度の不具合が発生しています。15年間の故障履歴を振り返ってみますと3回のピークが見られます(図5)。1回目のピークは初期故障と呼ばれるもので、これを抑えるのに5年程かかっています。主な故障の原因は主送風機用インバータの冷却水漏れで、微々たる漏れであったため故障原因がつかめず完全改修までに5年の歳月がかかりまし

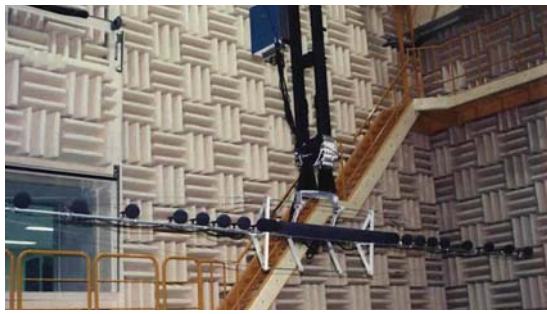


図6 一次元マイクロホンアレイ

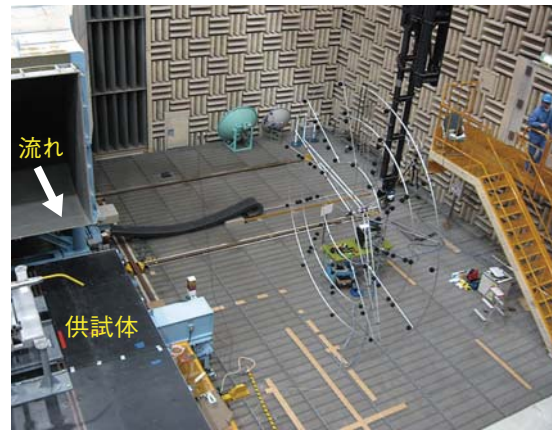


図8 ビームフォーミング式マイクロホンアレイ

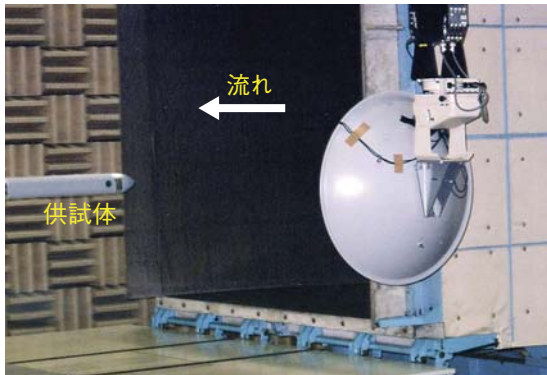


図7 パラボラ型指向性集音装置



図9 音源分布解析例(1.25 kHz)

た。この間たびたびの地落事故が発生し、徹夜で復旧作業を行った苦勞が思い起こされます。次のピークは、竣工より10年を経過する頃で、電子部品の経年劣化から各装置の故障が多発したことが原因です。2009年頃の故障原因は、主送風機軸受の油圧系統の不具合によるものです。

この様に故障は毎年発生していますが、この15年間で試験契約の不履行は1件も出していません。これは風洞スタッフの高い設備管理技術の賜物だと誇りに思っています。

風速運転および計測システム

米原風洞では、風洞の運転およびデータ収録を少人数で行えるシステムを導入しており、各々1名で運転およびデータ収録を行うことができます。それを可能にしたのは、ワークステーション (EWS) と機器間の通信を用いた運転および計測システムです。特に計測では、種々の機器をEWSで制御し、計測機器から出力されるデータをEWSに取り込むことができます。当時のコンピュータの処理能力では、EWSを使用する必要がありましたが、コンピュータの処理能力の向上に伴い、より使い勝手のよいパソコンに変更しました。また、パソコンと計測機器との通信をLAN形式に変更しました。パソコンを用いた計測システムへの変更により、EWSの立ち上げに要する時間を短縮すること、システムトラブルを低減すること、収録データを容易に管理することなどが可能になりました。

計測機器

風洞試験では、目的に応じて、種々の計測機器を使用します。優れた風洞試験のためには、風洞の性能に加えて、適切な計測技術が不可欠です。そのためには、計測機器更新および技術向上が求められます。風洞竣工以来、常に、計測技術の向上に腐心してきました。その例のいくつかを紹介します。

(1) 騒音測定

鉄道の低騒音化技術を開発するためには、どこから強い音が出ているかを知ること(音源探査)が重要です。開設当初の計測装置として、一次元マイクロホンアレイ(図6)やパラボラ型指向性集音装置(図7)を装備していました。パラボラ型指向性集音装置を用いた音源探査では、供試体の側方(流れの外側)で、測定位置を格子状に移動し、各々の測定点で騒音を測定することにより音が強く出ている場所を明らかにしていました。その後、測定精度の向上や計測時間の短縮(1回の測定で音源探査が可能)を目的とした計測機器の更新を行い、二次元マイクロホンアレイや楕円体型指向性集音装置を経て、現在は、音源探査のためにビームフォーミング式マイクロホンアレイを用いています(図8、図9)。

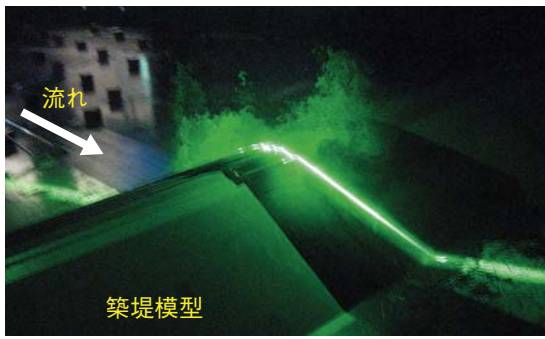


図10 PIV計測

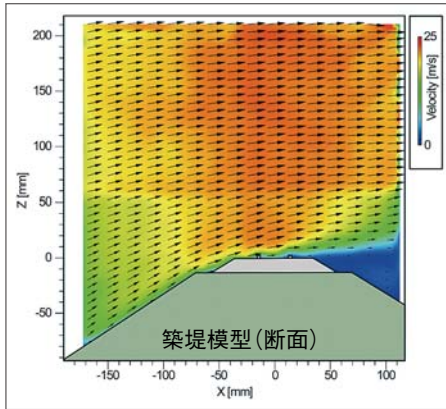


図11 PIVによる流れ場測定結果

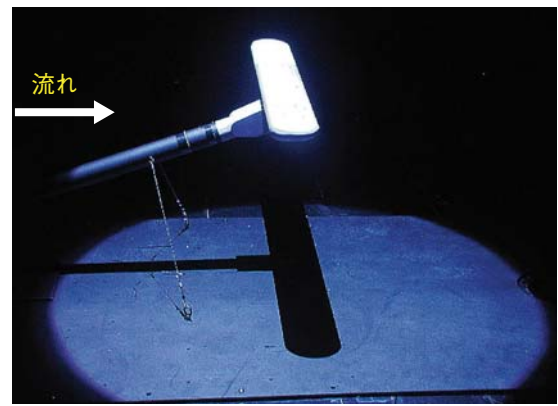


図12 PSP計測

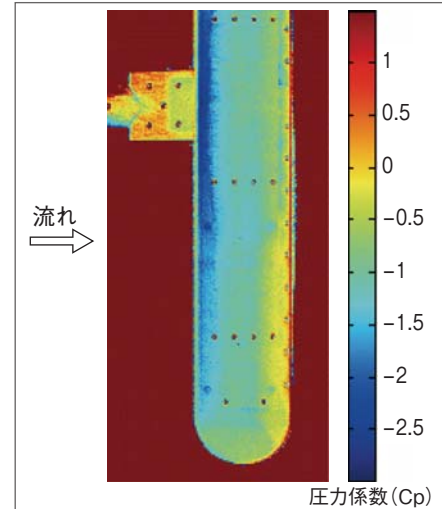


図13 PSPによる圧力分布測定結果

(2) 圧力測定

供試体に働く流れの様子を知る方法の一つに、表面の圧力測定があります。詳細な圧力測定のためには、多くの点で圧力を測定する必要があります。大型低騒音風洞では当初から、多点(48点)の圧力を同時に測定することができました。その後、圧力計の模型への内蔵やより詳細な圧力測定への対応のために、多点圧力計の小型化や更なる多点化を進めました。その結果、現在では、当初の圧力計と比較して1/4程度の大きさで128点の同時圧力測定が可能になっています。

(3) 流速測定

供試体のまわりの流れの測定には熱線流速計を用います。この熱線流速計による測定は非常にデリケートであるため、当初、EWSから操作できるシステムだったものを、そのシステムから切り離しました。その結果、熱線流速計を測定部の近くに設置することが可能となり、計測機器の操作性向上やノイズの抑制を実現しました。

(4) 最新計測機器への対応

流体計測の分野では、これまでにない新たな計測技術も開発され、実用化されています。大型低騒音風洞ではそれらの計測への対応も行ってきました。最新の計測技術に、PIVとPSPというものがあります。これらの計測機器を所有している研究室と共同で、大型低騒音風洞での計測を行いました。PIVとは指定領域全体の流れを一度に測定する

計測技術です。気流に煙を流して流れを可視化し、流れの様子を連続で2枚撮影します。その画像データをパソコンで処理することにより、測定(撮影)された領域の流れ全体の様子を明らかにすることができます(図10、図11)。一方、PSPとは、物体表面の圧力を可視化する計測技術です。供試体表面に特殊な塗料を塗り、流れを当てると、表面圧力の違いにより、明るさが変化し、表面圧力の分布を知ることができます(図12、図13)。

おわりに

大型低騒音風洞の15年の歩みについてご紹介してきました。近年では、計算機の発達により、鉄道車両に限らず様々な研究開発において、数値シミュレーションの重要性が高まっています。しかしながら、空気の流れに関わる研究開発においては、風洞試験も数値シミュレーションと同様に重要な研究開発ツールです。今後も、大型低騒音風洞の設備の維持管理および計測技術の向上のために頑張っ