

## インド初の風洞実験施設

高橋 貞良\* 笛木 秀亮\*  
園部 隆道\*\* 是竹 将志\*\*

### First Wind Tunnel Test Facility in India

by Sadayoshi TAKAHASHI, Hideaki FUEKI, Takamichi SONOBE, & Masashi KORETAKE

Ebara has delivered the first environmental wind tunnel to a Japanese company in India under an EPS (engineering, procurement, and supply) contract focusing mainly on facility design and equipment supply. The scope of delivery includes the general design of the aerodynamic wind tunnel/environmental installation (except for the building, measuring instruments, air conditioning facilities, and on-site construction) and the supply of equipment. A Göttingen type wind tunnel with high operational efficiency has been delivered; fillet type contraction nozzles have been used to ensure proper and adequate airflow around test objects. The fillet type contraction nozzles allow reducing the power consumption by 25% or more compared to our conventional Göttingen type wind tunnels. The main nozzle velocity has been increased by 4% or more by using performance data obtained from other recently delivered wind tunnels and incorporating design improvements. For the capacity of the wind tunnel delivered to India, the main nozzle (W2.9 m × H2.2 m) and the secondary nozzle (W2.05 m × H2.05 m) provide maximum nozzle outlet velocities of 136 km/h and 171 km/h, respectively.

**Keywords:** Wild tunnel, Aerodynamic wind tunnel, Environmental installation, Nozzle lifter, Settling chamber, Contraction nozzle, Göttingen type wind tunnel, Boundary layer control (BLC) system, Airflow distribution accuracy, Power consumption reduction

### 1. はじめに

インド国内の日系企業に設備設計と機器供給を主体のEPS (Engineering, Procurement and Supply) 契約で環境風洞を初めて納入した。建物と計測装置・空調機器・現地工事を除いた空力風洞・環境設備全体に関する設計及び機器供給が納入範囲である。当社が納入した風洞設備は海外での実績は多くないが、日本国内において半世紀以上にわたり各種実験・研究施設に納入してきた実績や実務を通して築き上げてきた技術基盤によって、無事顧客要求に応え引渡しを完了したので、概要を報告する。

### 2. 設備概要

#### 2-1 設備の構成

風洞は本体、ノズル昇降装置、環境空調機器などで構成

されており、風洞本体の主要機器である軸流送風機、ダクト、バイパスダクト、ダンパ、整流胴、縮流ノズル、ベルマウスなどは鋼板溶接構造とし、長距離の輸送を考慮した設計製作を行った。

#### 2-2 風洞本体設備

図1に縦回流式風洞の設備構成を示す。送風機、ダンパを除く風洞本体のほぼ全ての製成品は製作実績のある海外製缶工場で作成し、現地までコンテナ輸送を行い、搬入組立した。

本体の概略仕様及び空力的仕様を表1に示す。

風洞は運転効率の高いゲッチングン型風洞とし、ノズル吹出し口は測定対象物の周囲を流れる気流が必要にして十分な状態となるように角を斜めに落とした隅切り形の縮流ノズルとした。また今回は組立上の設計配慮として、狭い空間での機器・ダクトなどの据付作業の簡便性を考慮に入れた分割構造やパネル構造を取り入れた。

写真1は風洞ダクト製作中の工場組立状況で、製作途中に確認検査を行い、現場据付時の加工が極力不要になるようにした。さらに出荷前にはダクト内面が特に平滑に仕上げられていることを入念に検査した。

\* 風水力機械カンパニー 国内事業統括 システム・ソリューション  
技術建設統括部 エンジニアリング室 風力・熱システムグループ

\*\* 同 同 同  
同 システム技術グループ

\*\* (株)荏原電産

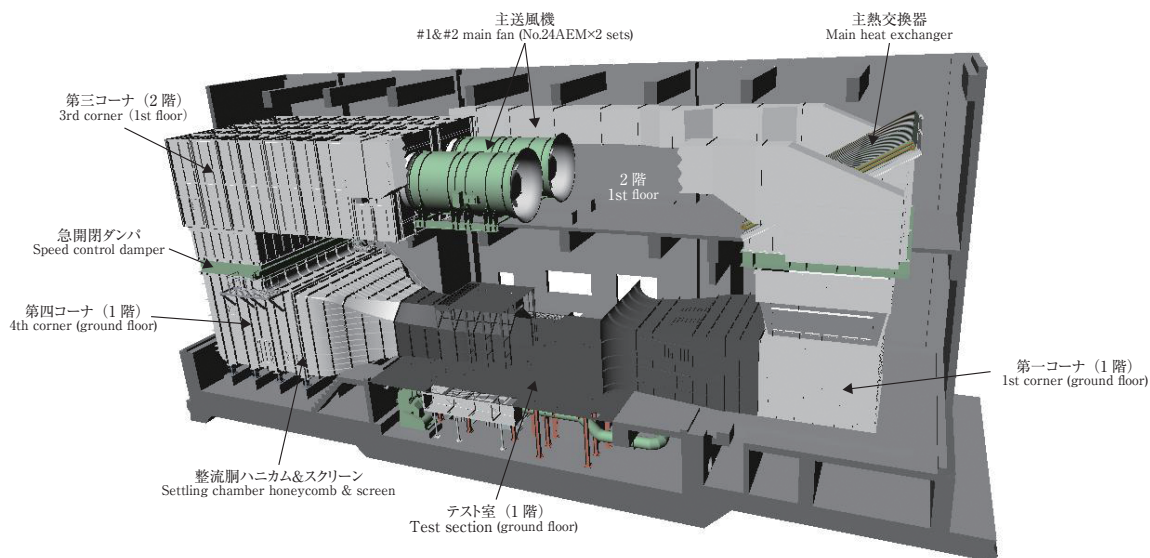


図1 縦回流式風洞図  
Fig. 1 Vertical circulation wind tunnel

表1 概略形状及び空力的仕様  
Table 1 Outline dimensions and aerodynamic specifications of the wind tunnel

型式 Wind tunnel type	縦回流式開放ゲッチンゲン型 Vertical opening Göttingen type	
軸心寸法 mm Axial center dimensions	長軸25925×短軸7000 Long axis Short axis	
	主ノズル Main nozzle	第二ノズル Secondary nozzle
縮流比 Contraction ratio	4.2	6.7
測定部 mm Test section dimensions	幅8000×長8050 Width Length	幅8000×長4750 Width Length
風制御 Wind control	0⇔100 km/h : 2.5秒 (1.1 G)	0⇔100 km/h : 2.5秒 (1.1 G)
風速 m/s Velocity (km/h)	0 ~ 37.8 (0 ~ 136)	0 ~ 47.5 (0 ~ 171)
風速分布 % Velocity distribution	± 3.0%以下 Within	± 1.0%以下 Within

同型の風洞で採用実績のある動力低減手法を今回も採用し更なる対策をした結果、当社が納入してきた従来のゲッチンゲン型風洞に比べ25%以上の動力低減効果が確認できた。また近年納入した同様風洞設備<sup>1)</sup>と比べた場合でも主ノズル風速比で4%以上能力アップした結果が得られた。

### 2-3 主送風機

主送風機は建屋階高の制約とメンテナンス性を考慮し、2台分割とした。

送風機口径は2400 mmで、型式は横型単段軸流送風



13-56 01/240

写真1 ダクト組立状況  
Photo 1 Shop assembly of wind tunnel ducts

機+電動機内装直結型を採用した。

運転は車風速指令値に連動した回転速度制御を行うとともに加減速要求や低速領域ではスピードコントロールダンパを使った風量制御方式とした。写真2に送風機工場試験状況を、表2に送風機仕様を示す。

### 2-4 整流装置

整流胴にはアルミハニカム製の整流格子とステンレス金網を挿入して気流の整流を行う構造にした。ダクトに入りやすい寸法の点検ドアを設置して、性能維持のために定期的にメンテナンスや清掃が容易にできる構造に配慮した。



13-56 02/240

写真2 主送風機工場試験状況  
Photo 2 Shop test of the main fan

表2 送風機及び駆動電動機の仕様  
Table 2 Fan and motor specifications

送風機×2 Fan	型式 Fan type	単段軸流送風機 Single stage axial flow fan	
	口径 mm Outlet diameter	2400	
	風量 m <sup>3</sup> /s Capacity	主：96.0 Main nozzle	第二：82.2 Secondary nozzle
	圧力 kPa Pressure	1.11	1.22
電動機×2 Motor	形式 Motor type	三相誘導電動機 Three phase induction motor	
	電圧 V Voltage	415	
	出力 kW Output	150	
	回転速度制御方式 Speed control	インバータによる回転速度制御 Inverter speed control	

### 2-5 ダンパ

風洞で風速制御の重要な役割を行うスピードコントロールダンパは試験条件設定の性能要求を満たすため、送風機出口の気流制御用として対向翼ダンパを採用し、全開動作、全閉動作時間を7秒以内とし急激な加速・減速に対応できるようにした。

### 2-6 縮流ノズル

縮流ノズルに隅切りを設け吹き出し風量低減を図ることによって運転効率を高めて動力低減を行った。この結果、要求の風速を守りつつ消費動力の大きい主送風機用電動機動力は隅切り形状によって約25%低減が実現できた。

### 2-7 ノズル昇降装置

今回は主ノズルと第二ノズルの切替えに第二ノズルを

表3 ノズル昇降装置諸元  
Table 3 Nozzle lifter specifications

型式 Nozzle lifter type	試験床4点支持サーボ減速機駆動型 Servo reduction gears drive type supported at 4 points on the test bed
昇降装置寸法 mm Lifter dimensions	W3910 × D3575 × H3200
昇降荷重 kN Hoisting load	30
昇降ストローク mm Lifting stroke	2620
昇降時間 S Lifting time	220



13-56 03/240

写真3 ノズル昇降装置と第二ノズルの工場組立中の外観  
Photo 3 General view of assembly of the nozzle lifter and secondary nozzle

床下に収納する方式のノズル昇降装置を採用した。表3にノズル昇降装置の諸元を示す。また、写真3に工場検査組立中の外観と写真4、5に現地据付後のノズル昇降装置下部を示す。

### 2-8 環境空調

環境空調用熱源機は本研究施設内で他の試験設備の熱源機器と共用化を図り、設置スペースの縮小や熱源機の使用効率が高まるように配慮した。その中で風洞設備の熱負荷が占める割合は大きい。それは運転中の熱変動や建物躯体熱及び外気処理熱などがある。また風洞運転中の昇温制御には電気ヒータを採用し、設備の保守性や負荷変動のコントロールが行いやすい設備とした。冷熱源機本体は設置場所特有の水質事情から空冷チラーを採用し、部分熱負荷運転にも対応できるように台数分割を行った。

### 2-9 車輻試験室

試験室は床面を除く壁面と天井及び梁・柱面に全て吸音材とパンチングメタル保護を施し試験室内の騒音低減を図った。





13-56 04/240

写真4 ノズル昇降装置下部-1  
Photo 4 Lower part of the nozzle lifter (1)



13-56 05/240

写真5 ノズル昇降装置下部-2  
Photo 5 Lower part of the nozzle lifter (2)

気流試験設備では風速試験において床面境界層の拡大低減に、境界層制御装置 (Boundary Layer Control System: BLC) を設けた。これは主ノズル出口床で吸い込み、BLCファンで下流側のコレクタ床まで気流の一部をバイパスさせている。これによって主ノズル床出口の境界層はノズル出口から3 m下流地点で境界層厚さを50 mm以下という仕様値を満足している。

アイドリング運転風速試験では気流バイパスダクトを上流側壁面に設け室温制御を可能とした。また煙可視化試験時にはそのバイパスダクトを切り替えて排気ダクトとし、試験中の常時排煙を可能とした。

### 3. 速度分布の運転結果

車輦周りの気流が熱的に影響を受けることから、環境空調においては空力風洞と同様に空力特性の優れたもの

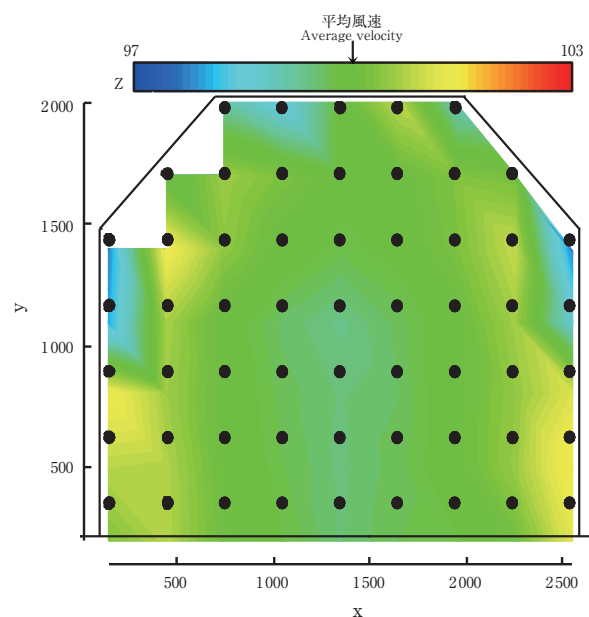


図2 気流速度分布試験結果 (主ノズル)  
Fig. 2 Airflow velocity distribution test results (Main nozzle)

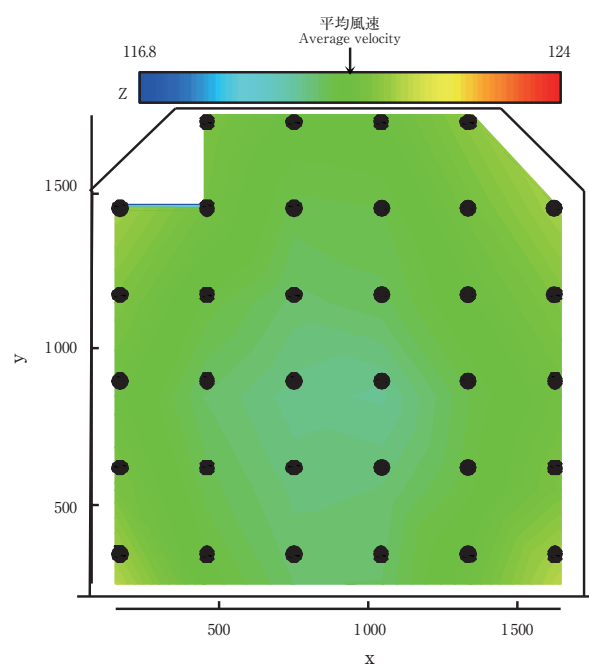


図3 気流速度分布試験結果 (第二ノズル)  
Fig. 3 Airflow velocity distribution test results (Secondary nozzle)

が要求される。図2に主ノズル風速100 km/h, 図3に第二ノズル風速120 km/hの試験条件における風速分布結果を示す。速度分布が主ノズル, 第二ノズルともほぼ一様であり要求仕様 (± 3.0%以内) を十分に満足できた。

また、今回の試験中に煙試験での気流分布精度を確認できた。写真6に煙試験状況を示す。



13-56 06/240

写真6 煙試験状況  
Photo 6 Smoke test conditions

#### 4. おわりに

以上、設備の概要を述べ併せて試運転結果の一部を報告した。

冒頭にも記述したが、海外で取り組んだ風洞設備は決して多くない中で、昨今の情勢で日本の製造メーカーが海外に生産設備だけではなく、研究設備を設ける機会が増えているのは事実であり、今後も風洞設備の新たな導入計画が期待される。ただし、このような設備は、計画や建設時に空力・熱的ノウハウはもちろん、装置の製造技術や制御システム構築まで含めたエンジニアリングノウ

ハウの提供が必須となる。今回は現地法人をもたない当社が顧客ニーズに合わせたエンジニアリング協力を行い、国内で培ってきた技術をEPS契約などによって柔軟な対応をすることで良好な結果が得られた。今後もEPS契約などによる顧客ニーズに合わせた協力提供が可能と考える。

設備納入後の保守管理においても経験的かつ専門的な知識も含めた展開が欠かせない。今後は顧客の試験責任者や設備担当など関係者との連携によって、良好な維持管理が進められるよう努力したい。

本設備は国内の顧客設備御担当・試験責任者はもとより現地御担当の多大な協力、当社の関連部署や協力会社担当の努力によって、無事完成させることができた。建設に際し、顧客御担当はもちろんのこと、国内外の多くの方々の御指導と貴重な助言に対し、深く感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 高橋貞良, 江藤文宣, 笛木秀亮, Wutichai PITUKLERDKUL, Piya JARASMATUSORN: エバラ時報 No.223, pp.32-36 (2009).