

シングルベルトローリングロード付実車風洞

Full-scale Wind Tunnel Equipped with Single-belt Rolling Road System

是 本 健 介*
Kensuke KOREMOTO
倉 谷 尚 志*
Naoshi KURATANI

河 村 信 之*
Nobuyuki KAWAMURA
中 村 信 介*
Shinsuke NAKAMURA

青 木 道 広*
Michihiro AOKI
吉 岡 英 樹**
Hideki YOSHIOKA

要 旨

当社はシングルベルト付実車風洞の運用を開始した。本風洞は、実走状態の車両周りの流れの模擬のため、(1)大型シングルベルトローリングロードシステム、(2)オープンジェットとアダプティブウォールの切り換え式観測部、(3)スケール模型の姿勢を制御するモデルモーションシステムを備えている。本稿では、この風洞設備の概要および実車搭載の有無での風洞試験の一例を紹介する。

ABSTRACT

Honda has begun operating a full-scale wind tunnel with a single-belt system. In order to simulate flow around a vehicle in actual motion, the wind tunnel is equipped with (1) a large-scale single-belt rolling road system, (2) a test section that can convert between open jet and adaptive wall systems, and (3) a model motion system that controls the attitude of a scale model. This paper gives an overview of the wind tunnel facility and gives an example of wind tunnel testing with and without an actual vehicle in place.

1. はじめに

近年、厳しい燃費要求に伴う空力の役割が増し、商品性および安全性向上を目的とした高速安定性に対する要求も増してきたためローリングロードシステム (RRS) 付実車風洞の必要性が増した。そこで当社では、新たに RRS 付実車風洞の建設計画を立て、2009 年 4 月から試運転をおこなった。

本風洞の主な特徴は、シングルベルト RRS⁽¹⁾⁻⁽³⁾およびアダプティブウォールシステム (AWS)^{(4), (5)}の採用である。シングルベルト RRS は、実走状態の車両床下流れを再現でき、従来の固定地面板風洞と比較し、より実走に近い抗力、揚力を計測することができる。AWS は、観測部と車両の面積比に起因する車両周りの流れの加速現象 (ブロックage) による壁干渉⁽⁶⁾をオープンジェット並に最小化でき、288 kph での試験が可能となる。

本稿では、この風洞の概要および試験の一例を紹介する。

* 四輪 R&D センター

** アデコ株式会社

2. 風洞の概要

2.1. 風路設計

風洞の概略図を Fig. 1 に示す。鉄筋コンクリート造りの風路は、実車の空力および音響試験用のノズルサイズ 24.1 m² のオープンジェット観測部 (最高風速 200 kph) と実車およびスケール模型の空力試験用のノズルサイズ 17.1 m² の AWS (最高風速 288 kph) に切り換え可能である。この観測部の切り換え方法は、AWS アセンブリをオープンジェットプレナムに入れ、可動プレナム壁を閉めることでおこなう。

2.2. オープンジェット観測部およびプレナム

Fig. 2 にオープンジェット観測部に実車を搭載した写真を示す。オープンジェット観測部は、長さが 14.5 m である。観測部末端では、三枚のフラップ (トップおよび二枚のサイド) からなるコレクタフラップが設置されている。

一次境界層制御装置 (PBLRS) は、オープンジェットノ

ブル出口の 2 m 上流 (AWS ノズルの下流 1 m) に位置し、そのスクープ高さは 60 mm である。

オープンジェット形態での音響試験は、PBLRS を稼働させた状態あるいは停止させた状態で、スクープをフェアリングで覆うことによっておこなう。

観測部の特徴は、米 MTS 社製の RRS および RRS に設置した各種天秤である。詳細は後ほど述べる。

観測部は、長さ 24 m、幅 16 m、高さ 12.4 m のプレナムに覆われている。プレナム壁は、独 FAIST GmbH 社製の吸音材によって囲まれている。制御室と反対側の壁は、可動式で上から吊るされた吸音材壁からなる。これらのパネルは、AWS がストレージとプレナム間を移動するときに開閉する。

2.3. AWS 観測部

Fig. 3 に AWS 観測部に実車を搭載した写真を示す。AWS は、側壁および天井壁を最大 200 mm 変位させ、実走状態の車両周りの流れを壁形状で再現し、搭載した車両と壁のプロジェクションの影響を最小にできる装置である。AWS 観測部は、長さ 17.5 m で、入口の断面積は、 17.1 m^2 である。壁の初期位置は、境界層の発達分を考慮した拡大形状となっており観測部出口の断面積は 17.7 m^2 となっている。

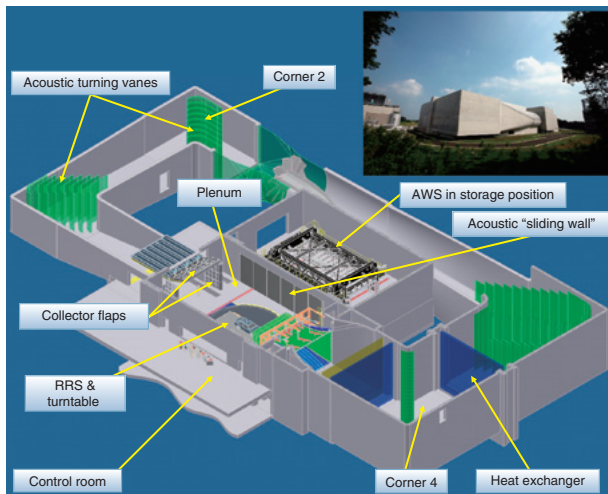


Fig. 1 Wind tunnel layout



Fig. 2 Open jet test section view from upstream with collector in background

AWS は、観測部外側の鋼鉄製の支柱、側壁および天井壁の透明なアクリル板からなる。側壁は、高さ 3 m、幅 1 m、厚さ 25.4 mm のアクリル板 30 枚 (片側 15 枚)、天井壁は、長さ 1 m、幅 3.5 m、厚さ 25.4 mm のアクリル板 15 枚からなる。壁可動のため支柱には側壁 30 個および天井 30 個の電気機械式のアクチュエータが搭載されている。

Fig. 4 に AWS 効果の一例を示す。図中の Flat wall は、AWS の初期状態を示し、オープンジェットおよび AWS に実車を搭載した時の車両中央線上の静圧分布を比較する。AWS 稼働後の静圧分布は、オープンジェットの分布と一致しているのがわかる。AWS 稼働前の初期状態での静圧分布は、プロジェクションの影響で車両周りの流れが加速するため、AWS 稼働後およびオープンジェットの結果と比較して低くなる。

2.4. 送風機

Fig. 5 の送風機は、米 FlaktWoods 社製で最大出力 3.6 MW のモータ (TMEIC 社製) で駆動し、最大流量 $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ を発生する。送風機は、直径 8 m であり、炭素繊維強化プラスチック製の 24 枚の動翼および鋼鉄製の 35 枚の静翼から構成される。

2.5. 熱交換器

熱交換器は、コーナ 3 出口面から下流 9.8 m に位置する。この熱交換器は、2 列の円形管および水平フィンの組み合わせ



Fig. 3 AWS test section view from upstream

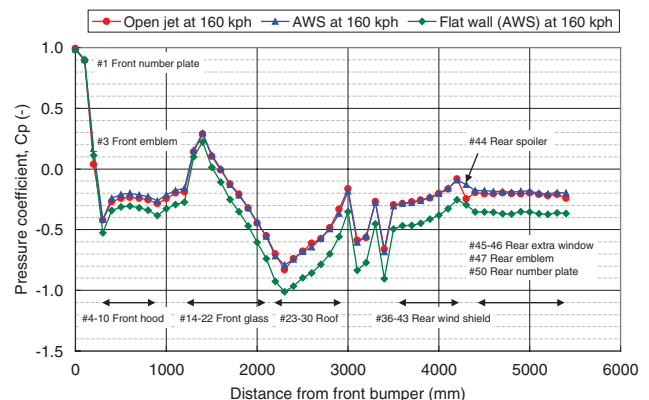


Fig. 4 Static pressure distributions along vehicle surface

わせからなる。冷却溶媒は 30% グリコールと水の混合液が用いられている。

2.6. 境界層制御装置およびシングルベルトローリングロード

観測部の境界層制御装置は、前述のスクープ形状の PBLRS と吸い込みおよび接線噴出し方式の二次境界層制御装置 (SBLRS) からなる。SBLRS は、RRS の上流ローラ部にスロットを持ち、幅はベルトと同じ 3.2 m である。PBLRS は、HSD (High speed diffuser) にて再注入し、SBLRS は、吸い込み直後にベルト上流端から接線噴出しする。

Fig. 6 にシングルベルト RRS を示す。今回、HFM (Horizontal Force Measurement) を搭載したシングルベルトを採用した。この HFM は、RRS の構造部材に設置され、オイルベアリングを用いて、浮いた状態にある RRS に加わる水平方向の空気力を車両の持つ内部抵抗を計測することなく高精度で計測できるシステムである。

RRS のステンレスベルトは、幅 3.2 m、長さ 9 m (ローラ軸間距離)、厚さ 1 mm であり、最高速度は 300 kph で運転され、ベルト速度は風洞の風速と同期して運転する。RRS は、直径 12.3 m のターンテーブルと同期し、横風試験を再現するため $\pm 10^\circ$ のヨー角での試験が可能である。

車両にかかる揚力あるいはダウンフォースは、ステンレスベルト下に設置したロードセルにて、四輪独立して計測可能である。このロードセルは、実車用およびスケール模型用があり、エキセントリックシステム上に設置しているため、ホイールベースおよびトレッドの異なる車両でも対応可能である。



Fig. 5 Main fan with 9 inlet guide vanes, 24 rotor blades and 35 stators

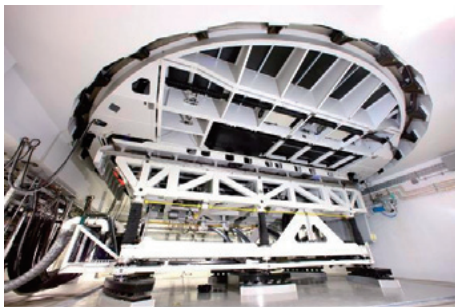


Fig. 6 Rolling Road System and turntable

以下に境界層制御装置、RRS に関連する試験の一例を示す。

Fig. 7 に風路中心軸に沿った x 軸方向の静圧分布を主要な他メーカの結果と比較する。グラフは引用論文^{(2), (7), (8)}をもとに作成した。本風洞の静圧勾配は、車両搭載位置で平坦に保たれている。

Fig. 8 にベルト中心での境界層制御違いでの境界層分布を比較する。三段階 (PBLRS, SBLRS, RRS) の境界層制御を用いることで平坦な分布が得られていることがわかる。

Fig. 9 および Fig. 10 に RRS 非稼働時と稼働時の実車背後の全圧分布計測結果をそれぞれ示す。RRS 稼働の有無によってタイヤから生じる後流の広がり異なるのがわかる。

2.7. モデルモーションシステム

ヘキサポッドと呼ばれる六つの電気機械式アクチュエータを備えたモデルモーションシステムもまた、米 MTS 社製である。このシステムはピッチ、ロール、ヒープを含めた多自由度の動きにスケール模型を操作可能である。ヨー

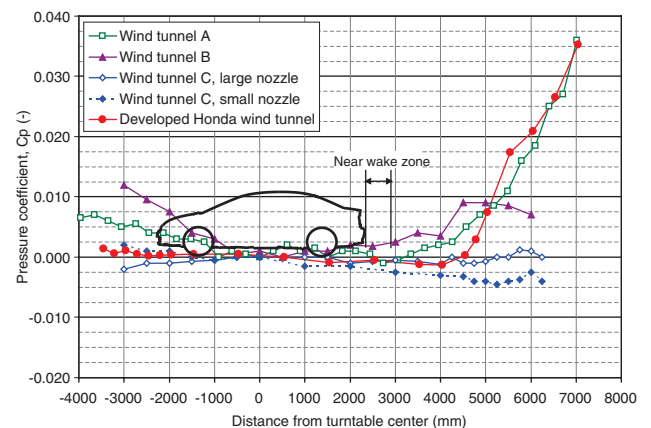


Fig. 7 Axial static pressure distributions along centerline of empty test section in selected wind tunnels (Outline of 4.5 m long test vehicle centered at $x = 0$ is shown on open jet mode)

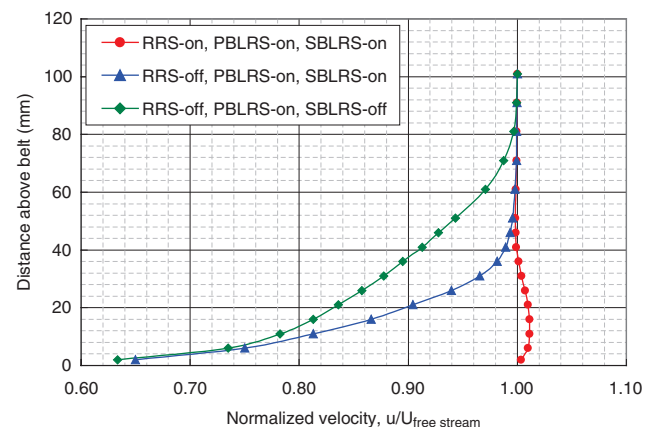


Fig. 8 Boundary layer velocity profiles at $x = -2000$ mm at 200 kph for three boundary layer control conditions on open jet mode

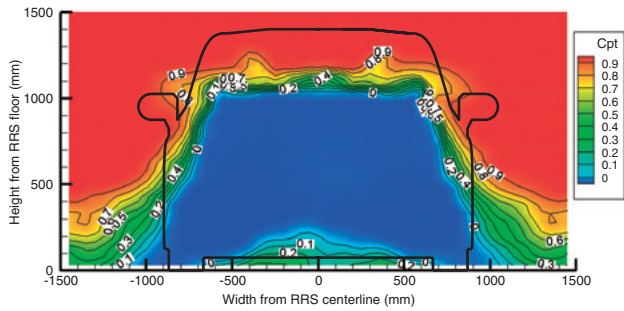


Fig. 9 Total pressure coefficients in cross-section at 10 mm behind vehicle with RRS-off at 100 kph on open jet mode

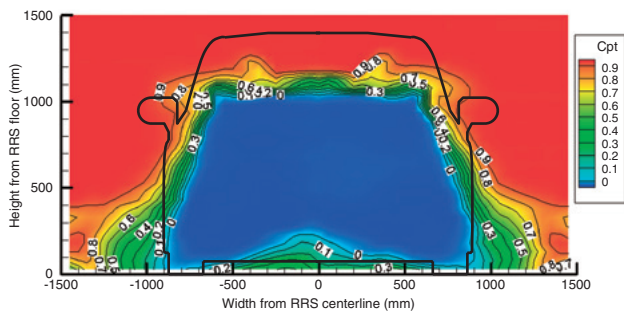


Fig. 10 Total pressure coefficients in cross-section at 10 mm behind vehicle with RRS-on at 100 kph on open jet mode

Table 1 Wind tunnel aerodynamic performance summary

Test parameter		Open jet results	AWS results
Total pressure uniformity		$\Delta P_t/q = 0.08\% (1\sigma)$	$\Delta P_t/q = 0.10\% (1\sigma)$
Static pressure uniformity		$\Delta P_s/q = 0.33\% (1\sigma)$	$\Delta P_s/q = 0.19\% (1\sigma)$
Longitudinal turbulence intensity, u'/U		0.20% (at 200 kph)	0.199% (at 288 kph)
Flow angularity		$\Delta\alpha = 0.09^\circ$	$\Delta\alpha = 0.10^\circ$
		$\Delta\beta = 0.09^\circ$	$\Delta\beta = 0.10^\circ$
Boundary layer profile	$z = 2 \text{ mm}$	$ u-U /U = 0.82\%$	$ u-U /U = 0.15\%$
	$z = 50 \text{ mm}$	$ u-U /U = -0.42\%$	$ u-U /U = 0.18\%$
Sound pressure level	100 kph	56.2 dBA	
	180 kph	71.8 dBA	

モーションシステムは、ストラットの中に設置されており、ターンテーブルの動きと同期して運転する。

2.8. 気流計測結果

気流計測結果を Table 1 に要約する。オープンジェットおよび AWS とともに実用上満足できる性能と同等あるいは大きく上回る値を示した。

3. まとめ

この風洞の特徴を紹介し、車両の有無での空力試験の一例を示した。

この風洞は、実走車両周りの流れを模擬できる装置とし

て、車両空気抵抗の低減および操縦安定性の改善に効果的な試験装置であると考えられる。

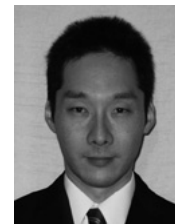
参考文献

- (1) Carver, S., Senft, V.: Five Key Technologies for Large-Belt, High-Speed Rolling Road Wind Tunnel Testing, Wind Tunnel International, 2009 Annual Review, p. 116-118
- (2) Duell, E., Kharazi, A. Ebeling, W., Mercker, E.: The BMW AVZ Wind Tunnel Center, SAE Paper, 2010-01-0118
- (3) Bordner, J.: Keeping Ahead of the Pack, Wind Tunnel International, 2009 Annual Review, p. 82-85
- (4) United States Patent # 4308748 (1982)
- (5) Whitfield, J. D., Jacocks, J. L., Dietz, W. E., Pate, S. R. : Demonstration of the Adaptive-Wall Concept Applied to an Automotive Wind Tunnel, SAE Paper, 820373
- (6) Mercker, E., Wickern, G., Weidemann, J.: Contemplation of Nozzle Blockage in Open Jet Wind-Tunnels in View of Different 'Q' Determination Techniques, SAE Paper, 970136
- (7) Kim, M.S., Lee, J. H, Kee, J. D., Chang, J. H.: Hyundai Full Scale Aero-acoustic Wind Tunnel, SAE Paper, 2001-01-0629
- (8) Walter, J., Duell, E., Martindale, B., Arnette, S., Geierman, R., Gleason, M., Romberg, G.: The DaimlerChrysler Full-Scale Aeroacoustic Wind Tunnel, SAE Paper, 2003-01-0426

■ 著 者 ■



是本 健介



河村 信之



青木 道広



倉谷 尚志



中村 信介



吉岡 英樹