

JAXA 大型風洞試験設備の改修計画

浜本 滋 (JAXA 空力技術研究ユニット)

Renovation Plan of Large-scale Industrial Wind Tunnels at JAXA

Shigeru Hamamoto (Aerodynamics Research Unit, JAXA)

Key Words: Renovation, Wind Tunnel, JAXA

1. はじめに

JAXA 調布航空宇宙センターの大型風洞群は、昭和 30 年代から 40 年代に整備されて以来、戦後国内で開発されたほぼすべての航空機、宇宙機の開発で利用されてきた。これらの風洞は 1960 年（昭和 35 年）に竣工した 2m×2m 遷音速風洞を筆頭に、50 年以上の稼働実績があり、その間、設備の定期的な改修・更新や試験計測技術の開発・整備、設備運用体制の整備と技術継承のためのシステム構築等が継続的に行われてきている。

2003 年に始まった MRJ (Mitsubishi Regional Jet) の開発は YS-11 以来の国産民間機の開発であり、国際的な競争力のある機体開発に向けて風洞試験に対してはそれまでにない高精度な計測が求められるようになった。以降、JAXA ではデータ精度やデータ生産性向上のための研究開発に重点的に取り組み、試験要求を満たすと共に、ハードウェアも改善すべく、設備の改修時には機能向上も仕様に取り込むことで、常に高品質の試験データが提供できるよう、工夫と努力を続けて来た。

今般、平成 26 年 8 月に文部科学省から「戦略的次世代航空機研究開発ビジョン」¹⁾ が発表され、世界の航空機需要の成長を踏まえ、我が国の航空機産業が自動車産業に比肩する成長産業として発展するため、航空科学技術としての今後の取組方針が示された。その中で、民間航空機の国際競争力向上を支える大型試験設備の整備についても述べられており、緊急に整備が必要な大型試験設備として、2m×2m 遷音速風洞と 6.5m×5.5m 低速風洞が具体的に挙げられた。

このビジョンを受けて 2m×2m 遷音速風洞、6.5m×5.5m 低速風洞の大型改修が予算化され、実施されることとなった。本報告では、両風洞の改修の概要について紹介する。

2. JAXA 調布航空宇宙センターの大型風洞群

(1) 風洞のラインナップ

JAXA 調布航空宇宙センターには、我が国有数の航空機・宇宙機開発用の大型風洞群が整備されている²⁾。図 1 に JAXA 航空技術部門空力技術研究ユニットが管理する風洞群を、速度域毎に対象となる機体/技術課題等と合わせて図式的に示す。また、表 1 には各々の諸元を示す。複数の風洞で低速から極超音速までの幅広い速度域をカバーし、軌道再突入を行う宇宙機の開発向けに高エンタルピ風洞も整備されている。これらの風洞群は表 1 に示すように、航空機開発のための技術基盤を形成する大型の開発用風洞と、風洞試験・計測技術の研究開発や基礎的な空気力学研究に用いられる比較的小規模な研究用風洞に分類される。

なお、JAXA には調布航空宇宙センターの他の事業所にも高温衝撃風洞(HIEST、角田宇宙センター)、大学共同利用設備として提供されている 0.6m×0.6m 遷音速風洞/超音速風洞(宇宙科学研究所(相模原))などの風洞があり、航空宇宙分野の研究開発に利用されている。

(2) 主要風洞の整備履歴

図 2 に JAXA 調布航空宇宙センターの主要風洞の整備履歴を示す。大型風洞の性能を維持し、機能を向上させるためには、老朽化部位を改修・更新しつつ、新しい試験要求に対応した設備の改良・増強を継続的に実施する必要がある。

2m×2m 遷音速風洞については、1980 年代半ばから 10 年間に亘り、第 1 次大型改修として主送風機駆動用電動機の更新、補助送風機(圧縮機と電動機双方)更新、内圧調整系設備の更新(排風機、圧縮機、貯気槽)、冷却水設備改修等が実施された。2000 年代半ばからは MRJ 開発に合わせた第 2 次大型改修としてカート増設(第 4 カートの整備)、主送風

機／補助送風機制御システム更新、可変ノズル改修等が実施された。先に述べたデータの高精度化については、カート増設に合わせて風洞制御手法の改善、データ処理の高度化（干渉補正など）、天秤の改善などにより実現する一方で、新設のカートではPSP（感圧塗料技術）、PIV（粒子画像流速計）等に代表される先進光学計測技術にも対応が容易になるように観測窓を増設するなどの工夫がなされた。

6.5m×5.5m 低速風洞については、送風機駆動用電動機の更新を2回（1990年半ばと2013年度）実施している。1990年代半ばにはまた、機能向上策として地面効果試験装置（ムービングベルト、スティングカート）や後流トラバース装置の整備及びロータ試験装置の更新を実施した。一方、寿命が短い電子機器（計測設備など）以外の機械系の設備の中には1965年に整備されて以来、使用され続けているものも多く、老朽化に伴う不具合発生リスクが増大してきた。6.5m×5.5m 低速風洞は大気圧風洞であり、圧力や温度を制御する複雑なシステムを持つ高速風洞に比べて長寿命であると考えられているが、老朽化が試験データの品質低下を招く恐れもあり、計画的な老朽化対策／機能向上が望まれていた。

3. 設備の改修・更新計画

2m×2m 遷音速風洞及び6.5m×5.5m 低速風洞について、2014年度以降に予算化され、実施中の改修・更新計画の一覧を表2に示す。また、2m×2m 遷音速風洞の改修の概要を図3に、6.5m×5.5m 低速風洞の改修の概要を図4に示す。

本章では、各計画の概要を紹介するが、2m×2m 遷音速風洞の防音化工事及び6.5m×5.5m 低速風洞の防水補修工事については、技術的な側面が少ないため、割愛する。

(1) 2m×2m 遷音速風洞主送風機駆動用電動機更新

2m×2m 遷音速風洞では1960年の竣工後、第1次大型改修の中で、1987年に主送風機駆動用電動機の最初の更新を実施した。以後、25年以上に亘り風洞の運用を行ってきたが、ここ数年で制御回路に使用されている半導体素子、電子部品等の劣化が原因の異常停止が頻発するようになった。これらの半導体素子、電子部品の多くはすでに製造が中止され、入手が困難であることに合わせて、メーカーにおいても製造当時の技術者の退職等で、サポート体制の継続が困難な状態となっていた。そこで、今後20年スパンでの2m×2m 遷音速風洞の安定運用を確保するために、2度目の電動機更新を実施することとな

った。

更新は2014年度から2017年度までの足かけ4年をかけて実施され、撤収及び据付・調整の現地作業に伴い、2m×2m 遷音速風洞は2015年8月から2017年5月まで21ヶ月間、休止することとなった。

今回の更新では、風洞の基本性能を維持しつつ、制御システムの改善によるマッハ数制御能力の向上を目指す。また、風洞運転に必要なオペレータの数を減らし、オペレーションコストを削減のための制御手法の改良を行う計画である³⁾。

更新範囲は電動機本体及びそれを稼働するための電源系設備、制御するための制御系設備である。これに加えて風洞全体のパフォーマンス向上のために補助送風機の制御系、測定部（測定胴）の制御系の改修も実施する。2m×2m 遷音速風洞はシステムが巨大、複雑であり、電動機、主／補助送風機、測定部がそれぞれ別のメーカーによって整備されてきているため、最初の整備時がそうであったように、各社の更新範囲をシステムとしてはJAXAがとりまとめる、いわゆる「JAXA インテグレーション」の思想で本更新に取り組んでいる。

(2) 6.5m×5.5m 低速風洞模型支持装置改修

既設のスティング模型支持装置は、平成4年度から6年度にかけて実施された試験機能向上策の一つとして整備されたものである。ここ数年、制御系に不具合が生じているが、こちらも保守部品の入手が困難な状況で、修理が行えない状態である。また、駆動機構の劣化が顕著であるとともに、元々の剛性不足から模型姿勢角変更時に模型が振動し、データ計測に支障を来すという問題も抱えていた。これらの問題を解決するため、新しいスティング模型支持装置を製作することとした。

スティング模型支持装置を再整備することで、航空機開発におけるスラストリバーサ試験を含む、離着陸時の空力特性を模擬する試験に対する対応能力が向上することが期待される。また、胴体下の支柱（ストラット）支持に比べて支持干渉が少なく、内挿式天秤を利用することでデータ精度の向上も期待できる。

スティング支持装置の改修に合わせて、計測設備の更新も実施する。計測設備は2m×2m 遷音速風洞をはじめとする他の風洞とのシステム共通化を基本コンセプトとし、計測精度向上のための対策も施す計画である。ノイズ対策として、新規にアース工事を行う他、力計測の更なる精度向上のために、搬送波タイプのアンプ（AC アンプ）の導入、複合荷

重式自動天秤較正装置⁴⁾との互換性向上を行う。

スティング模型支持装置改修は 2016 年度中に完了する予定である。

(3) 6.5m×5.5m 低速風洞模型昇降装置／ターンテーブル更新

模型昇降装置は風洞竣工の 1965 年以来、ターンテーブルはその翌年の 1966 年に整備されて以来、使用されてきており、老朽化による不具合の兆候が大きくなってきている。

模型昇降装置は測定部下のピットに設置されており、ピラミッド天秤やターンテーブルを昇降し、測定部中心に模型を設置するために用いられている。近年、ジャッキ駆動用電動機の絶縁劣化やブレーキの作動劣化が見られ、駆動部分の摩滅により作動不能となるリスクも増大している。

ターンテーブルはピラミッド天秤を使用しない試験（空気力を測定しない圧力試験、可視化試験など）で模型の横揺れ角を変えるための装置である。既設のターンテーブルは駆動機構と回転部の加工精度が悪く、バックラッシュ（回転方向を変えた際のズレ）も大きく、ロール方向に振動する現象が見られる。また、回転角の位置精度も十分でない。

このような状況を改善するため、昇降装置及びターンテーブルの更新を行う。

昇降装置は持ち上げ能力の向上、高さ設定の自動調整などの機能を付加する。ターンテーブルは円形のリニアガイドを用いて位置精度の向上（±0.05°以下）を目指すと共に、高速変角モードを追加する計画である。機能向上と合わせて安全対策も実施する。測定部の高さが 6.5m のこの風洞では、模型を設置する風洞中心が風洞壁下面から 3.25m 上方にあり、模型を設置した状態で模型周りの作業を行うと高所作業となる。そのため、模型周りの作業を模型を下げた状態で実施できるような工夫を施す予定である。

模型昇降装置及びターンテーブルは 2016 年度中に更新を完了する予定である。

(4) その他の改修

6.5m×5.5m 低速風洞ではこの他、ピラミッド天秤の開放点検を実施した。

ピラミッド天秤は槓桿（こうかん）式と呼ばれるレバーやてこによって力を伝達し、ロードセルで測定する装置であり、高い精度で計測可能であるが、機械の調整が難しいのが欠点である。

ピラミッド天秤も 1965 年の風洞竣工時に整備さ

れたものを使用し続けており、老朽化によりテコを構成するナイフエッジ（支点）の刃のなまりや、刃受けの損耗などにより、槓桿機構にガタが生じている状態であった。そのため、力計測時の再現性が悪く、特にロールモーメントのヒステリシスが問題となっていた。

今回の開放点検で各部品の修正及び再組立、調整を実施し、所期の性能を回復すると共に、模型変角の機械機構や制御部分については機能・性能向上も実施した。

ピラミッド天秤の開放点検は 2015 年度に終了した。

4. まとめ

近年の CFD の発展により、航空機開発における空力設計の主流は CFD になりつつあるが、依然として風洞試験も必要とされている。今後の航空機開発においては、CFD と風洞試験を最適に組み合わせる設計の効率化、高度化が図られていくものと考えられる。そこでは風洞試験に対してより高精度なデータ、データ生産性の更なる向上、より高いレベルでの実機模擬などが期待されることになる。

JAXA の大型風洞群は、我が国の航空機開発の基盤を形成する大型試験設備としてそれらの期待に応えるため、必要な改修・改善と、風洞試験に供する試験計測技術の開発を引き続き実施していく所存である。

[参考文献]

- 1) http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/08/1351186.htm
- 2) 浜本滋：JAXA の大型風洞試験設備（前編）設備の概要 [特集 空力実験設備：現状と新展開 第 5 回], 日本航空宇宙学会誌, Vol.63, No.8, 2015, pp.253-259
- 3) 永井伸治, 馬込誠, 真城仁, 我那覇義人, 塩原辰郎, 唐沢敏夫：2m×2m 連続式遷音速風洞の制御統合, 第 53 回飛行機シンポジウム講演集, 2015, 1D02
- 4) 川村健生, 長屋秀昭, 橋岡崇裕, 森孝雄, 高平憲一, 濱田義洋, 香西政孝, 赤塚純一, 長井遵正, 山崎喬, 古賀星吾, 上野真, 須谷記和, 浜本滋：JAXA 複合荷重式自動天秤較正装置の開発, 第 49 回飛行機シンポジウム講演集, 2011, pp.941-947

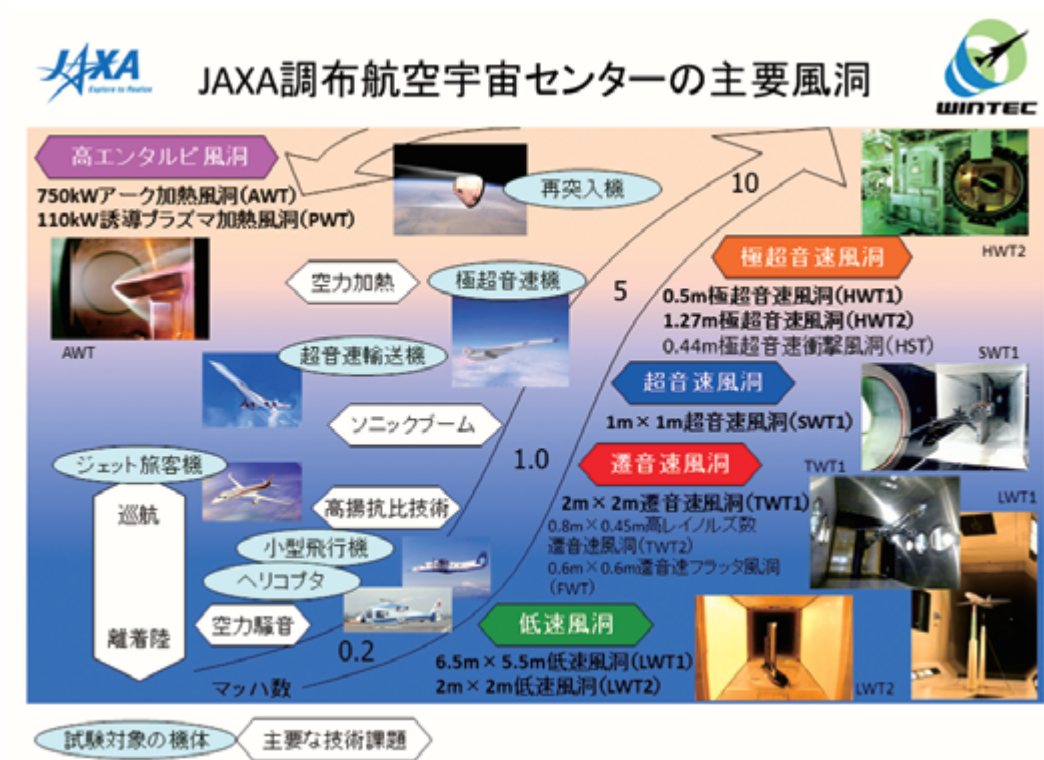


図 1 JAXA 調布航空宇宙センターの主要風洞

表 1 JAXA 調布航空宇宙センターの主要風洞

分類	風洞名	形式	測定部	風速、マッハ数
開発用風洞 (基盤風洞)	6.5m×5.5m 低速風洞 LWT1	連続循環式	高さ 6.5m、幅 5.5m (四隅に 1m の切り欠きがある八角形)	1 - 70m/s
	2m×2m 低速風洞 LWT2	連続循環式	2m×2m 正方形断面 長さ 4m	3 - 60m/s (normal) Max. 67m/s
	2m×2m 遷音速風洞 TWT1	連続循環式	2m×2m 正方形断面	M=0.1 - 1.4
	1m×1m 超音速風洞 SWT1	間欠吹き出し式	1m×1m 正方形断面	M=1.4 - 4.0
	0.5m/1.27m 極超音速風洞 HWT1/2	間欠吹き出し式 (真空吸い込み併用)	φ0.5m / φ1.27m ノズル出口径	M=5, 7(φ0.5m) M=10(φ1.27m)
	750kW アーク加熱風洞 110kW 誘導プラズマ加熱風洞 AWT/PWT	縮流安定型アーク加熱風洞(AWT) 誘導結合プラズマ型加熱風洞(PWT)	φ11.5cm ノズル出口径 (AWT) 自由噴流式 (PWT)	M=4.8 (AWT, designed) Subsonic (PWT)
	0.6m×0.6m 遷音速フラッタ風洞 FWT	間欠吹き出し式	0.6m×0.6m 正方形断面	M=0.5 - 1.2
研究用風洞	0.8m×0.45m 高レイノルズ数遷音速風洞 TWT2	間欠吹き出し式	高さ 0.8m、幅 0.45m	M=0.2 - 1.4
	0.44m 極超音速衝撃風洞 HST	二段圧縮型衝撃風洞 / 無隔膜駆動型衝撃風洞	φ0.44m ノズル出口径	M=10, 12
	小型低乱風洞	連続循環式	高さ 0.65m、幅 0.55m	5 - 65m/s
	磁力支持風洞	連続循環式 (磁力支持天秤)	高さ 0.6m、幅 0.6m	15 - 35m/s

主要風洞の整備履歴

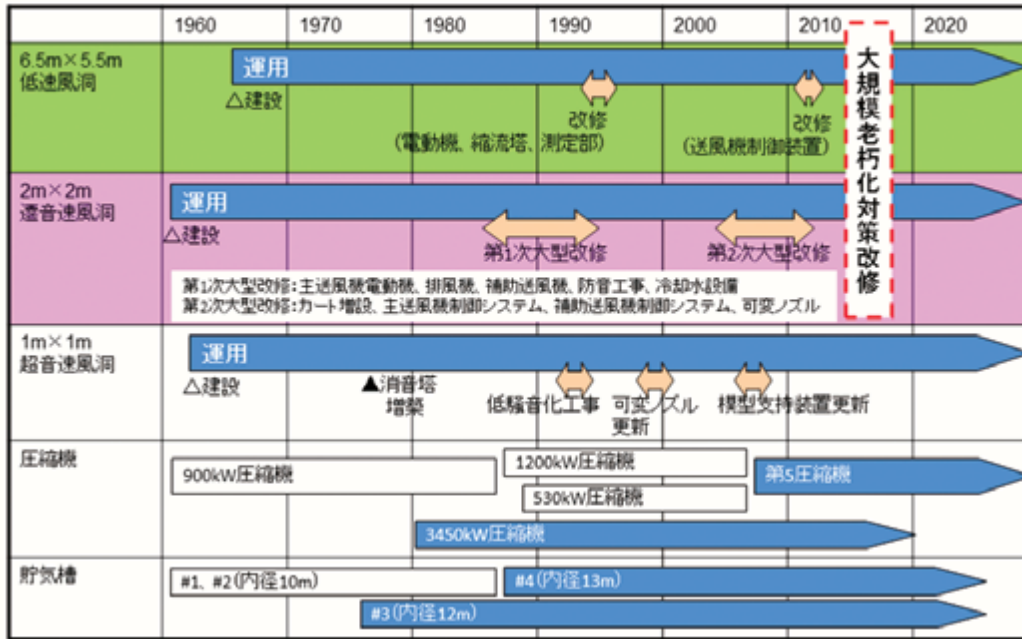


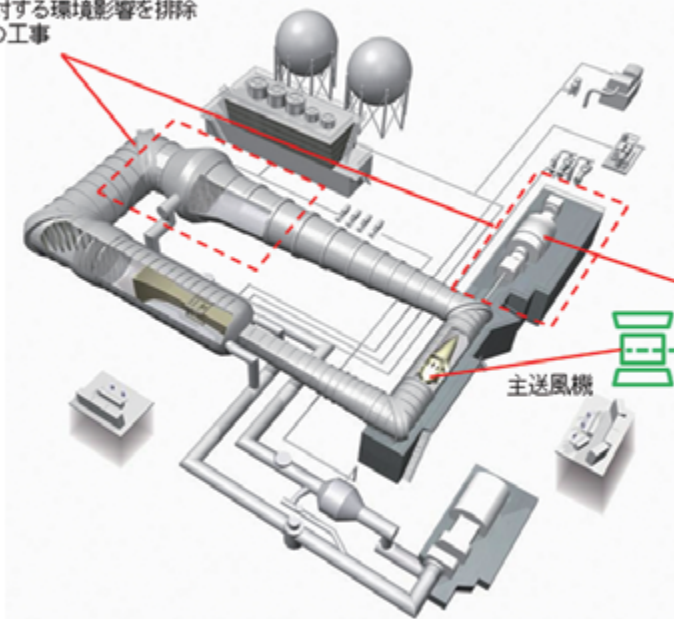
図2 JAXA 調布航空宇宙センター主要風洞の整備履歴

表2 2014年度以降に予算化された風洞改修・更新計画一覧

改修内容	実施年度	改修によって期待される効果	備考
2m x 2m 遷音速風洞			
①主送風機駆動用電動機更新	2014年度－ 2017年度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞の安定運用 マッハ数制御性能の向上 高効率化（省エネ、風洞運用の省人化） 	
②主冷却器等防音化工事	2015年度－ 2017年度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞の安定運用 環境適合性向上 	①と同時に実施
6.5m x 5.5m 低速風洞			
①模型支持装置（スタンディング支持）の改修	2015年度－ 2016年度	<ul style="list-style-type: none"> 高精度化（ストラット支持に比べて干渉の少ない支持法） 風洞試験の多様化（地面効果試験への対応など） 	
②模型昇降装置及びターントーブルの改修	2015年度－ 2016年度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞の安定運用 高精度化 高効率化 メンテナンス性向上（経費節減） 	
③風洞胴体（屋根、外壁）の防水補修	2015年度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞の安定運用 	

②主冷却器等防音化工事

敷地境界での騒音を低減し、周辺住民に対する環境影響を排除するための工事



①主送風機駆動用電動機更新

更新範囲

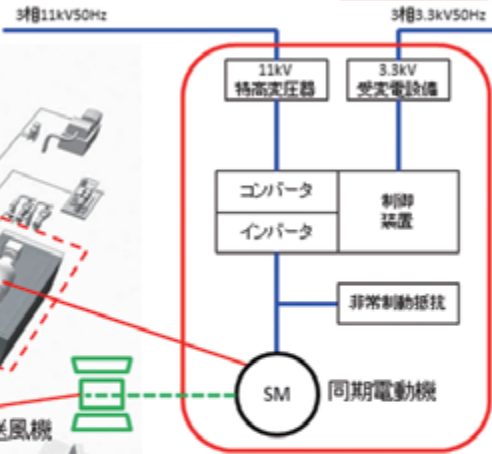
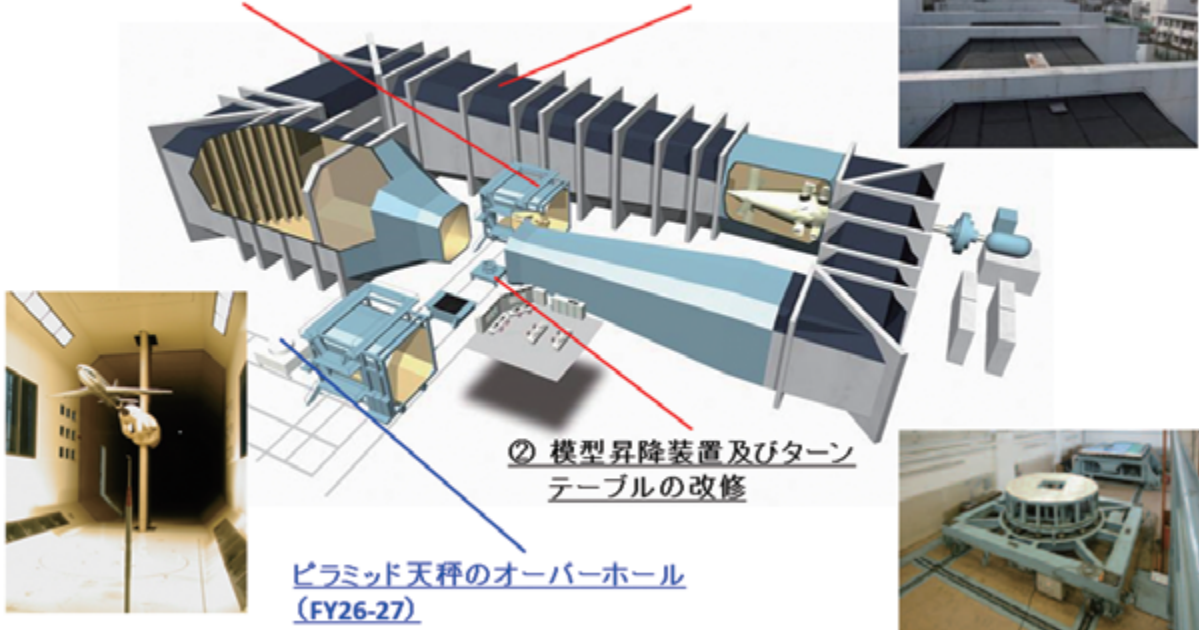


図3 2m×2m 遷音速風洞：改修の概要

① 模型支持装置(スティング支持)の改修

③ 風洞胴体(屋根、外壁)の防水補修



② 模型昇降装置及びターンテーブルの改修

ピラミッド天秤のオーバーホール (FY26-27)

図4 6.5m×5.5m 低速風洞：改修の概要