

風洞群の改修について

重見 仁、須谷記和、唐沢敏夫（宇宙航空研究開発機構）

On Modernization of Wind Tunnels

Masashi SHIGEMI, Norikazu SUDANI and Toshio KARASAWA (JAXA)

概 要

すべての試験設備に言えることであるが、風洞は時間と共に老朽化、陳腐化する。これを防ぐためには、適切な時期に改修をすることが不可欠である。JAXA風洞技術開発センター（WINTEC）の風洞群はいずれもNAL時代に整備されたものであり、必要な改修が行われてきたものと、老朽化が進んだままになっているものがある。2m×2m遷音速風洞（TWT1）は2004年度から第二次大型改修が開始され、多項目にのぼる改修が計画されている。これらのうち、2004年に作業が着手された測定部カート（第4カート）の増設は、データ生産性向上とユーザの求める新しい計測技術への適用性を高めるものでその完成が待たれている。また、圧縮機の増設と貯気槽の増設も安定的な風洞運用とデータ生産性の増強のために必要なものである。TWT1以外では、1m×1m超音速風洞の測定部下流部分の改修、0.5m極超音速風洞冷却器の改修にも、2005年度から着手できる見通しである。これらの風洞改修を通じて、WINTECは、我が国の航空機・宇宙機の開発に寄与する所存である。

1. 導入

WINTECは現在低速から極超音速までの速度領域にわたる10風洞を統一的に管理運用している。風洞は、すべての試験設備と同様に、時間と共に老朽化、陳腐化するため、それを防ぐためには、適切な時期に改修をすることが不可欠である。

WINTECの風洞群の整備と改修の歴史を年表風に描いたものが図1である。要点をピックアップすると、6.5m×5.5m低速風洞は1965年の竣工の後、1994年になってようやく送風機の更新、カートの増設を含む改修が行われたこと、2m×2m遷音速風洞（TWT1）では第一次大型改修が1985年から1994年に掛けて行われており、2004年から第二次大型改修が始まっていること、1m×1m超音速風洞（SWT1）では1999年に測定部上流側の改修が行われたこと、0.5m極超音速風洞（HWT1）では竣工以来40年近くの間、改修が行われないうちになっていること、などが挙げられる。

2004年度に、TWT1の改修が開始された。本稿はこの風洞の改修内容と、現時点で見込まれるその他の風洞の改修の内容を紹介する。

2. 2m×2m遷音速風洞（TWT1）の改修

2.1 改修の背景と必要性

風洞改修の背景と必然性を図2にまとめた。本風洞は1960年の竣工以来、我が国で開発された航空機、ロケット等の殆どすべての風洞試験を受け入れてきた。この意味でわが国の航空宇宙産業界および、研究開発に発展に大きく貢献してきたことは間違いない。近年、本風洞は毎年200日稼働しており、JAXA中で最も働いている試験設備であるが、それでもユーザの希望するすべてのデータを産出することが出来ない状況にある。2004年の現在、官・民の開発する数種の航空機の試験がこの風洞で行われている。さらに今後もこれら航空機の後継となる機体の開発や改良の試験で使われることが予想され、例えば今から約20年後である2025年まで、本風洞の重要性は変わらない、と考えられる。

空力設計のツールとしてはCFD（Computational Fluid Dynamics）の存在感が増してきたが、現状で風洞とCFDはお互いに短所を補完し合う互恵的な関係にあり、この20年間の間に本風洞の存在意義が大きく脅かされることは無いと考えられる。むしろ、ユーザの要求は風洞試験におけるPSP（Pressure Sensitive Paint = 感圧塗料）や

PIV (Particle Image Velocimetry = 粒子画像速度計測) などの新しい計測法の利用に向かっており、生産性の増加と新しい技術への適用性を向上させるための改修が現時点で不可欠であると判断して、本大型改修を開始した。

2.2 TWT1の全体改修計画

現在計画されているTWT1の改修部分は、図3(a)(b)に示す通りで、

- ・ 主送風機関連 (本体改修と制御システムの更新)
- ・ 高圧空気製造設備 (圧縮機と貯気槽の増設)
- ・ 測定部カートの増設
- ・ ノズル駆動系改修
- ・ 計測前置装置の更新
- ・ 光学装置の改修
- ・ 補助送風機関連 (制御システムの更新)

である。当初スケジュールは図4に示す通りであるが、2004年度から開始された項目以外は未確定で、この図の通りに改修が進むかどうかは必ずしも明確ではない。

改修項目は上に挙げた通り多数あるが、そのうち老朽化対策が主なものは除いて、測定部カート(第4カート)の増設と圧縮機・貯気槽の増設について、以下にやや詳しく述べる。

2.3 第4カートの整備

TWT1の測定部は風路の他の部分と一体構造ではなく、4つの車輪がついていてこの部分だけを引き出すことが出来る。このためカートと呼ばれる。現在TWT1は3つのカートを持っており、それぞれ第1～第3カートと名づけられている。第2カートは半裁模型用なので用途が限られており利用頻度も少ないが、第1カートと第3カートは共に全機模型用であり互換性がある。両者の違いは第1カートが多孔壁であるのに対して、第3カートは多溝壁であることである。

TWT1には非常に多くの利用者があるため、個々の試験に対して、試験期間を十分に長くとることが出来ない。前に書いた通り、TWT1の稼働日数は年間200日であるが、毎年その間に35件程度の試験が行われている。すなわち試験一件あたりに割り振られる風洞占有期間は6日程に過ぎない。この間でいかに多くのデータを取得するかは、風洞を占有しながら通風できない準備のための期間をいかに短くできるかに大きく依存している。準備期間を短くするためには、一つの試験を行っている間に別のカートを使って次の試験の準備を行い、試験の終了と同時にカートを交換してすぐ新しい試験を開始できるようにすることが理想である。実際、TWT1では第1カ

ートと第3カートの試験を交互に組み、準備のための通風休止期間を出来る限り短くしようとしている。しかし現実には、二つの理由により、この理想がなかなか実現できていない。理由の第一は、ユーザの利用希望が第1カートに偏っていることである。このためどうしても第1カートを使った試験が連続してしまう。第二は、現状風路から切り離れた状態でのカート内では、実行可能な準備作業に制限があることである。模型をスティングに取付けることは出来るが、模型を動かすことが出来ないで、模型の姿勢を変えての各種チェックやスタティック・テアの取得ができない。模型に取付けたセンサーのチェックは計測装置と組み合わせたシステムチェックの形で行いたい、計測装置は別のユーザの試験に使われているため不可能である・・・。このような現状を改善するために、第1カートと基本的に同じ形態を持つ第4カートを整備してユーザの利用に供することにした。

2.4 第4カートの新しい機能と期待される効果

第4カートに備えられる新しい機能は：

- ① 模型支持装置(風路から切り離れた状態でピッチ角、ロール角、上下位置の制御が可能)
- ② 計測装置 (本カート専用の計測装置を搭載)
- ③ ディフューザフラップ、第2スロート (可変にして設定可能域に幅を持たせる)
- ④ 角度可変壁 (同上)
- ⑤ 観測窓、機器固定棚 (PSP、PIVなどの新しい計測手法への対応)
- ⑥ 気流検定装置 (壁干渉補正への対応ほか)
- ⑦ 安全装置 (作業安全の向上と、洞外作業時の機密保全)

であり、これらから期待される効果は以下の通りである。

- ① 他の試験実行中に準備できる項目が増加して、生産性が向上する。
- ② 洞外駆動が可能なこと、計測装置が増設されたことによりメンテナンス性が向上する。
- ③ カート及び計測装置のバックアップ効果により、設備の信頼性が向上する。
- ④ 気流特性の改善及び模型支持装置の振動抑制が期待できる。
- ⑤ レーザを用いた新しい計測技術への適用性が向上する。
- ⑥ データ信頼性が向上する。
- ⑦ 安全性、作業性が向上し、秘密保持が保たれる。

これらを図5にまとめて示した。

3. 圧縮機・貯気槽の増設

低速以外の風洞では、乾燥空気を使っている。20気圧の乾燥空気を製造するのが圧縮機、それを蓄えるのが貯気槽である。現在使われている圧縮機は1980年に整備された3450kWのもの一基、貯気槽は直径12m（第3球）、13m（第4球）の球形のもの各2基である（図6）。一方これらによって製造貯蔵された空気は、2m×2m遷音速風洞、1m×1m超音速風洞、0.8m×0.45m高Re数遷音速風洞、0.2m×0.2m超音速風洞、6.5m×5.5m低速風洞、0.6m×0.6m遷音速フラッタ風洞（構造解析研究グループの所管）の各風洞で使われている。本増設は、整備後25年近く経つ3450kW圧縮機を予備に回して、3600kW級の新しい圧縮機を主圧縮機として整備すると同時に、貯気槽を増設することによって供給できる空気の量を増やし、データ生産性の増大を図るものである。さらに、貯気槽が増えることで、空気源を共有する風洞間での運用形態の違いによって生じる制約がはずせて、柔軟な運用が可能になると期待される。具体的には、現在の貯気槽内の乾燥空気はTWT1のシール空気等の操作空気源として使われるために、1.3MPaより圧力を下げることが出来ず、たとえばSWT1でもっと吹き止まり圧を下げられる試験ケースがあっても、この下限圧を守らなければならない。しかし、貯気槽の数が増えて、そのうちの一つをTWT1が占有するような運用にすれば、他風洞はTWT1の運用に基づく制限から開放される、などである。また圧縮機、貯気槽の数の増加によってバックアップ効果あるいはメンテナンス性が向上することも大きなメリットである。

4. その他の風洞の改修

0.5m極超音速風洞は1962年度の竣工以来改修が行われておらず、各要素の老朽化が著しい。この風洞はノズルを交換することによりマッハ数5、7、9の流れを得ることが出来るが、1m×1m超音速風洞の速度限界（マッハ4）を超えた流れの実験を行う施設として、マッハ5と7の試験需要が多い。改修せねばならない要素は多いがまず冷却器の更新を2005年度に行うことを計画している。

1m×1m超音速風洞はこれまで数次の改修が行われており、最近では1999年度に集合胴、可変ノズルなど、測定部より上流部分の改修が遂行されて、測定部のマッハ数分布の一樣さなど、本来あるべき性能の回復に成功している。この改修でやり残した測定部より下流部分（主に模型支持装置）の改修を2005年から開始することを計画している。

5. まとめ

1. 我が国航空宇宙産業の発達に不可欠な風洞群では、設備の老朽化対策、ニーズ（量・質）に対応した改修が必要である。
2. 風洞群の中で最も需要が多い2m×2m遷音速風洞の第二次大型改修を開始した。測定部カートの新設、圧縮機・貯気槽の新設のほか、老朽化した諸要素の改修を実施する計画である。
3. 0.5m極超音速風洞、1m×1m超音速風洞でも、コンポーネントの老朽化対策を計画している。
4. これらの改修を通じて、これまで以上に、我が国の航空機・宇宙機の開発に寄与する所存である。

種類	大きさ	年度	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
低速風洞	① 6.5m×5.5m			▼竣工								▽改修
	② 2m×2m				▼竣工							▽改修
遷音速風洞	① 2m×2m	▼竣工							← 第一次大改修 →			← 第二次大改修 →
	② 0.85m×0.4m					▼竣工					▽改修	
超音速風洞	① 1m×1m	▼竣工				▽消音棟増設			▽改修			▽改修
	② 0.2m×0.2m									▼竣工		
極超音速風洞	① 0.5m			▼竣工								
	② 1.27m									▼竣工		
	③ 0.44m(衝撃)			▼竣工							▽移設改修	
高エンタルピ風洞	① 750kWアーク加熱						▼竣工(450kW)			▽改修(750kWへ)		
	② 110kW誘導プラズマ加熱											▼竣工(予定)

図1. 風洞群の整備・改修年表

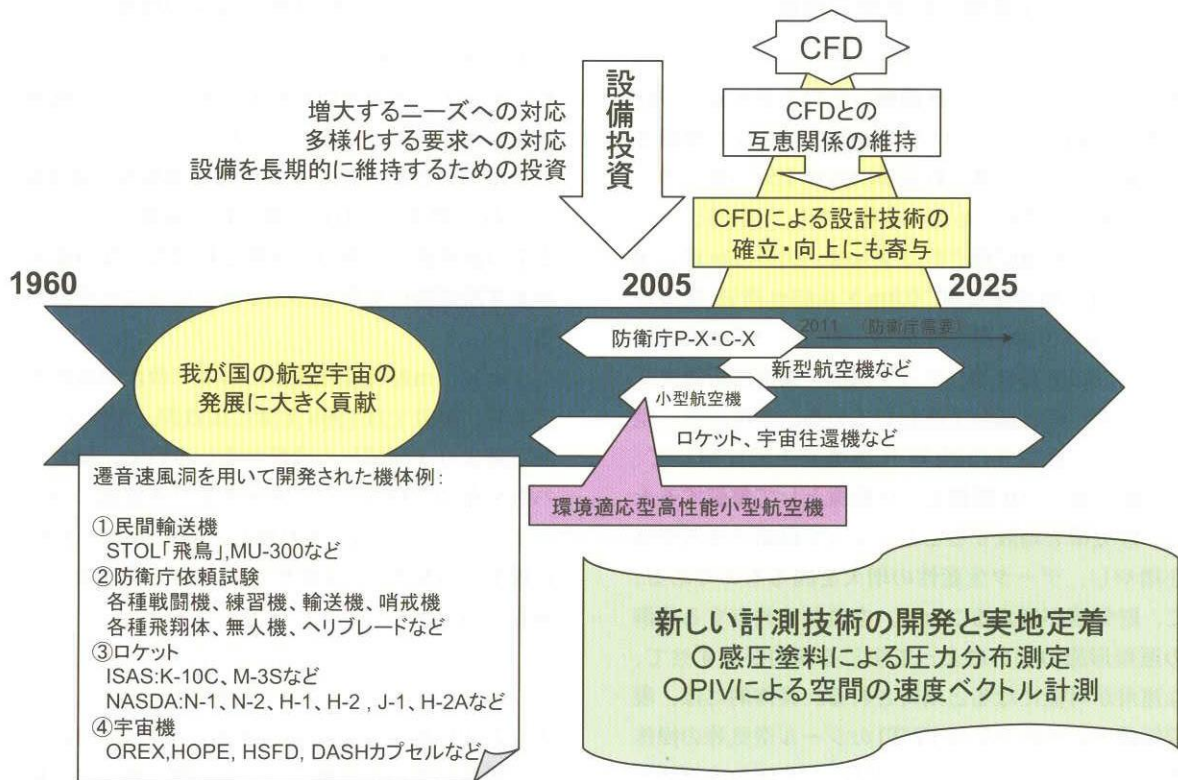


図2. 遷音速風洞改修の背景と必要性

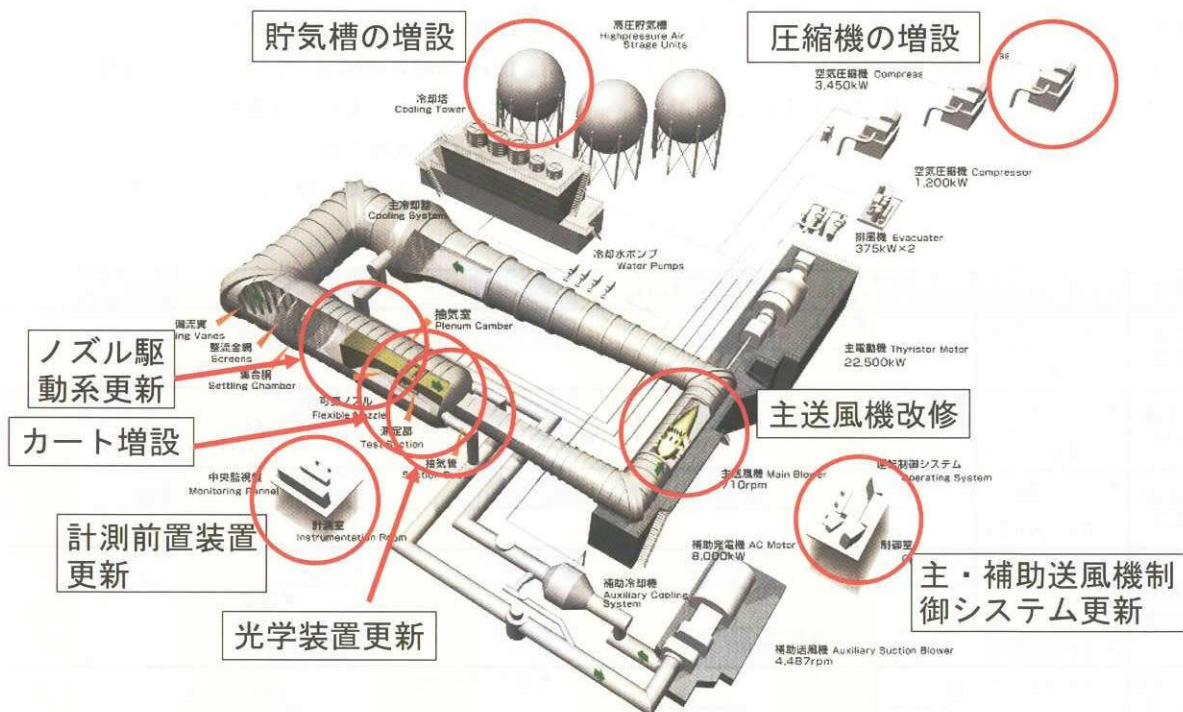


図3 (a). 遷音速風洞改修部分 (全体)



図3 (b). 遷音速風洞改修部分 (個別)

項目	2004年	2005年	2006年	2007年
主送風機 本体改修			←-----→	-----→
制御システム更新			←-----→	-----→
高圧空気製造設備 貯気槽増設			←-----→	-----→
圧縮機増設	←-----→			
測定部カート増設	←-----→			
ノズル駆動系の改修				←-----→
計測前置装置の更新		←-----→		
光学装置の改修				←-----→
補助送風機 制御システム更新	←-----→			

図4. 改修の年度展開 (予定)

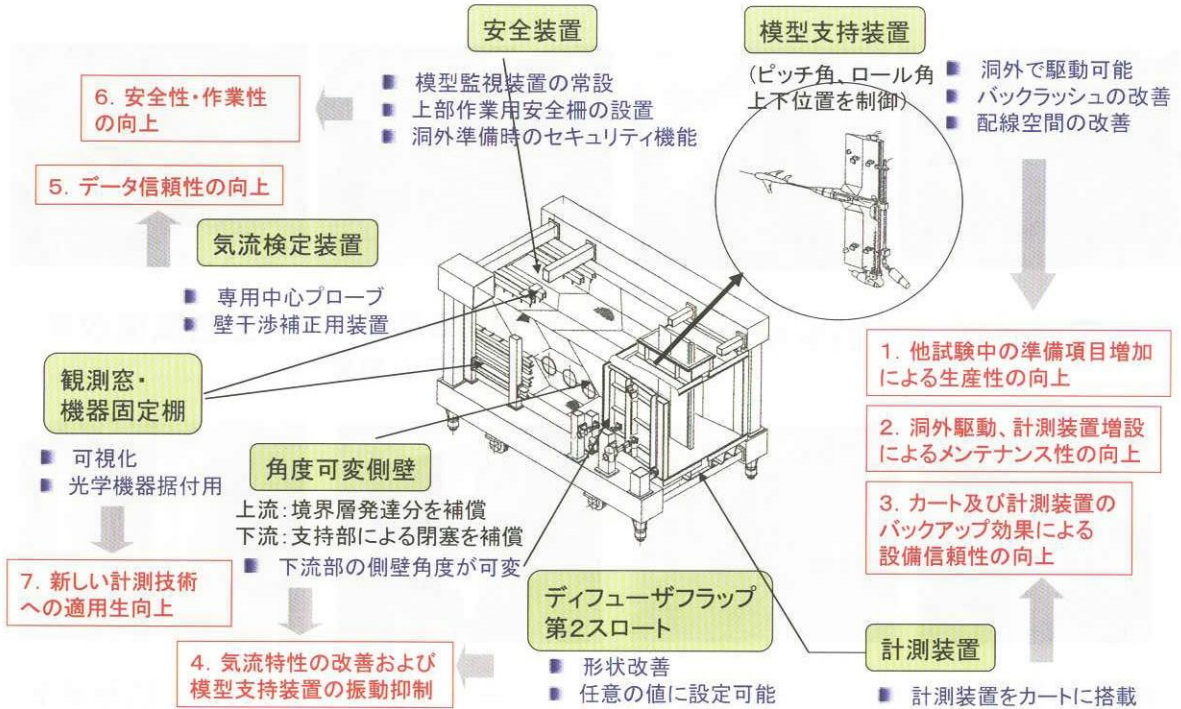


図5. 第4カートの新機能とその効果

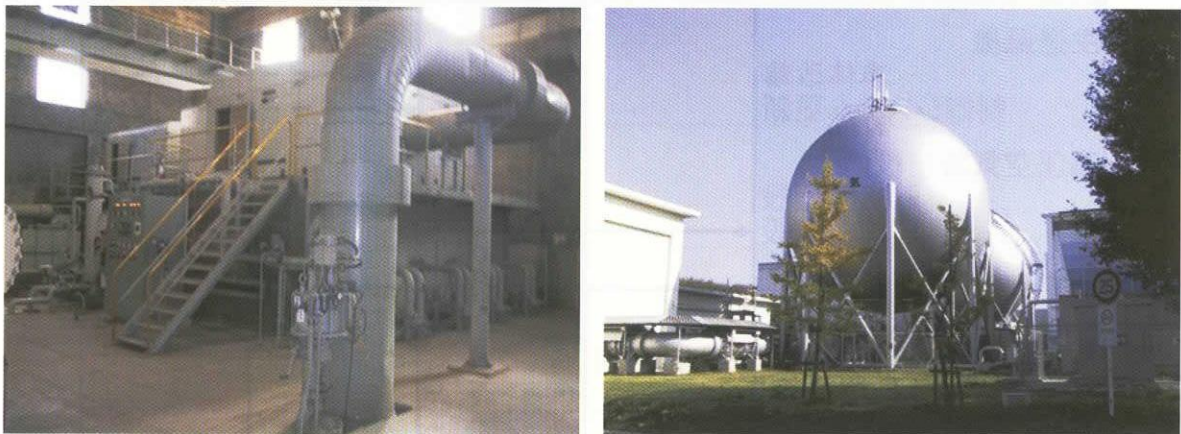


図6. 既存の3450kW圧縮機と貯気槽