

空と宙

2013 MAR/APR
<http://www.ard.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

研究開発

近未来風洞「DAHWIN(ダーウィン)」

アナログ技術とデジタル技術を融合し、高速かつ高精度化を目指す

設備紹介

調布航空宇宙センターの風洞群

空宙情報

低毒性高性能推進薬スラスタ「PulCheR(プリキュア)」研究開始

「施設公開」開催案内



DAHWINによる静粛超音速機模型風洞試験の様子(P.02 参照)

No. 52

研究開発本部
Aerospace Research and Development Directorate

近未来風洞「DAHWIN (ダーウィン)」

機体開発現場から

20XX年、デジタル／アナログ・ハイブリッド風洞——通称「DAHWIN(ダーウィン)」による機体設計開発が進められている。ここは風洞計測室。風洞試験データの収集を行う現場だ。計測室の壁はガラス張りになっており、巨大な風洞の一部を望むことができる。風洞の中では、開発中の機体の1/50スケールモデル模型が迎角1度を保ってマッハ0.8の気流にさらされている。その様子は、眼前のスクリーンで確認することが可能だ。隣のスクリーンには、スーパーコンピュータで求めた同モデルの解析結果が並んでいる。この解析結果を基に、試験データには瞬時に補正が加えられる。「迎角を2度に上げてみてくれないか」インターネットを介してデータを確認している機体設計者から指示が飛ぶ。即座に、模型の迎角を変更する。模型の姿勢が変わると、隣のスクリーンに映し出される解析結果も間髪を入れずに新しい結果を叩き出す——(図1)。



風洞試験と並行してスーパーコンピュータによる数値解析が行われており、解析結果は瞬時に風洞試験データに反映される。試験の様子はインターネットを介して設計現場にも配信されるため、設計者がデータを確認しながら指示を送ることができる。

図1 近未来の機体設計開発現場

これは、そう遠くない未来の機体設計開発現場の様子です。DAHWINは「高速化」と「高精度化」を目指した新たな風洞システムであり、2012年度に完成しました。

数値解析を最大限に活用する

風洞とは、機体が空を飛んでいる状態を人工的に作りだし、機体性能の確認を行う試験設備です。測定部内に支持装置を使って機体模型を保持し、前方から空気の流れを起こして飛行状態を模擬します。風洞試験で得られるデータには、支持装置や測定部壁などの影響が入ってしまうため、その影響を排除し“使えるデータ”にする作業が欠かせません。有効なのは、コンピュータによる数値解析です。コンピュータ内でバーチャルな飛行試験を行い、支持装置や壁の影響のない解析データを取得します。この解析データを使って風洞試験データに補正を加えることで、使えるデータにしています。

風洞試験では、最適な支持装置の選定などの試験準備に数カ月、長い時では1年近くもかかります。こういった支持装置が最適か、といった試験前に必要な情報を数値解析で事前に求めておけば、作業時間を短縮できます。DAHWINでは、風洞試験前後に必要な数値解析を効率良く行える解析ソフトを開発することで、作業時間を短縮しています。

形状選定から性能確認まで、DAHWINの可能性

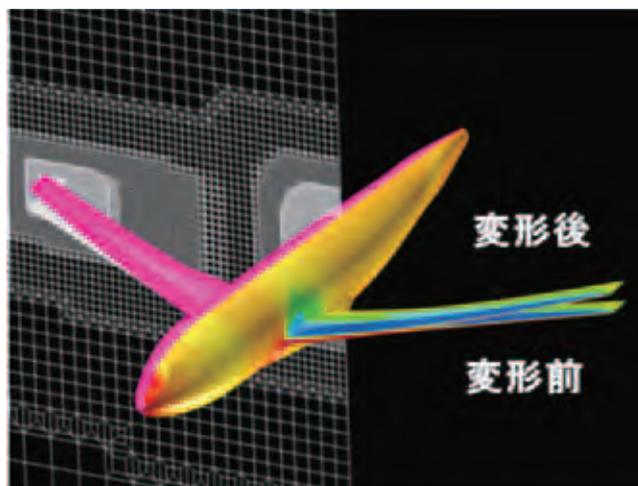
数値解析では、物理現象をモデル化して流れを表現するのですが、このモデル化の仕方によって解析データが変化します。また、風洞試験では風圧により模型の翼がたわむ現象が起きますが、通常の数値解析ではこのような影響を考慮していません。そこで、風洞試験データを用いて数値解析データをより現実に近づける手法について

アナログ技術とデジタル技術を融合し、高速かつ高精度化を目指す

も研究を進めてきました(図2)。この様に、風洞試験データと数値解析データを融合させることで、データの高精度化を図っています。

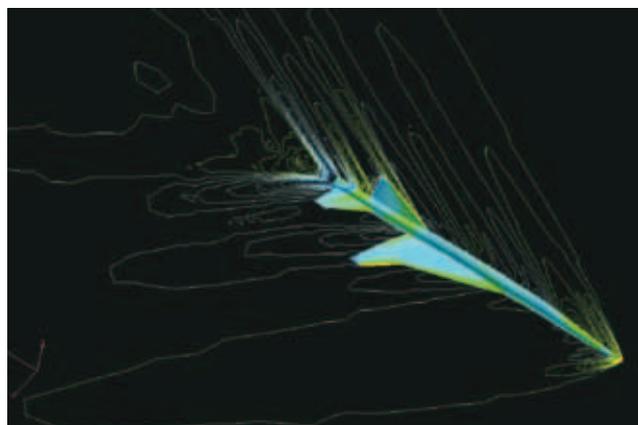
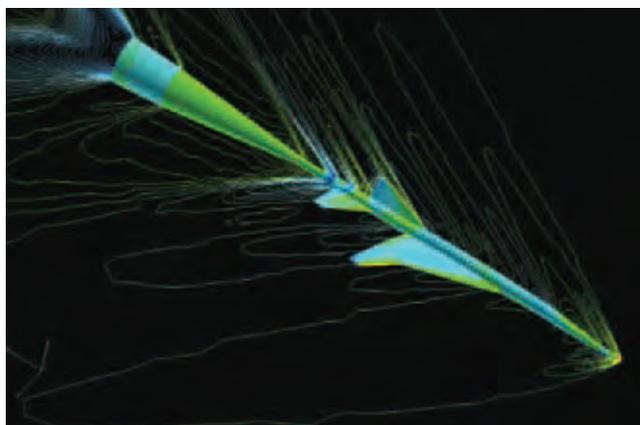
これまで、JAXAが所有する2m×2m遷音速風洞に対して、DAHWINの構築を進めてきました。正式な稼働は2013年4月からの予定ですが、JAXAが研究を進める静粛超音速機技術研究開発(D-SENDプロジェクト、図3)や、回収機能付加型宇宙ステーション補給機(HTV-R)などで既に性能を發揮しています。

今後は、6.5m×5.5m低速風洞や1m×1m超音速風洞に対してもDAHWINの構築に取り組みたいと考えています。また、コンピュータの高性能化により数値解析のスピードアップおよび高精度化を図ることで、機体性能の確認はもちろん、機体の形状そのものを決める設計への応用も目指します。



風洞試験で計測した翼のたわみを数値解析に反映し、数値解析データをより現実に近づける手法について研究開発を進めている。

図2 風洞試験データを反映した高精度な数値解析結果



支持装置がある状態(左)と無い状態(右)とで数値解析を行い、その結果を風洞試験に反映することで高精度なデータを得ることができる。

図3 静粛超音速機模型に関する数値解析結果



【DAHWIN開発メンバー】

村上 桂一、橋本 敦、廣谷 智成、山下 達也、青山 剛史、保江 かな子
加藤 裕之、口石 茂、渡辺 重哉、今川 健太郎

設備紹介

調布航空宇宙センターの風洞群

速い



速度

遅い



1958

年度

フラッタ風洞

風速：マッハ* 0.51 ~ 1.2

* 空気中を音の速さの何倍で飛ぶかを表した数値
音速=マッハ1

測定部：0.6m×0.6m (縦×横)

JAXAの前身機関のひとつであり、現調布航空宇宙センターを中心拠点としていた航空技術研究所(後に、航空宇宙技術研究所に改称)が発足したのは1955年、まだ1基の風洞もありませんでした。一番に完成したのは、フラッタ風洞です。飛行機が高速で飛ぶ時、翼が上下に激しく振動する「フラッタ現象」を起こす恐れがあります。この現象を解明し、安全に役立てるのがフラッタ風洞の役割です。

- 1 エンジンナセル付ジェット旅客機翼模型のフラッタ試験
翼が上下に大きく振動している様子が分かるだろうか
- 2 模型を入れる「測定部」が扉の向こうに見える



1961

1m×1m 超音速風洞

風速：マッハ1.4 ~ 4.0

測定部：1m×1m

2m×2m 遷音速風洞よりも更に速い流速を目指して開発した風洞です。気流速度(マッハ数)は、上下壁の形状を変えることができる「ノズル」によって設定します。

- 6 測定部(2000年に改修)
- 7 超音速機実現に欠かせない技術の検証を目的に2005年に行った「小型超音速実験機」

1960

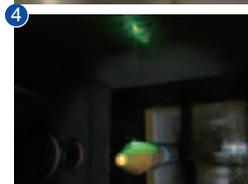
2m×2m 遷音速風洞

風速：マッハ0.1 ~ 1.4

測定部：2m×2m

航空技術研究所ではまず、航空機の研究に必要な3基の大型設備の建設に着手しました。そのひとつが2m×2m 遷音速風洞です。大規模な設備のため、完成はフラッタ風洞より後になりました。遷音速とは、音速と同じぐらいの速度のことです。気流の性質は音速を超える時に大きく変化するため、この速さでの試験はとても大切です。遷音速風洞としては我が国最大であり、長時間連続で試験をすることができる風洞です。

- 3 アメリカ航空宇宙局(NASA)が提唱している数値計算力学(CFD)検証用の標準模型「CRM」
- 4 開発中の新固体燃料ロケット「イプシロンロケット」の試験も行っている
- 5 “風”を作り出す「主送風機」



0.5m 極小

風速：マッハ
測定部：0.5m

マッハ5で飛ぶケットの試験を速風洞のノズルに対し、各速度方式をとって
8 音速の5倍客機
9 「ノズル」



飛行機が離着陸す離着陸機(V/STOL)の大きさを活かし小型無人機の開発
10 風洞の特性を確認
11 着陸形態の試験
12 測定部
13 航空宇宙技術研実験機「飛鳥」



航空機や宇宙機が大気圏を飛翔する際、機体周りの空気がどの様に流れるかは性能に大きく影響します。飛行状態を模擬し、その影響を事前に調べることができれば…そのために利用されるのが「風洞」です。JAXA 調布航空宇宙センターには、全14基の個性的な風洞があり、航空機や宇宙機の研究開発で活躍しています。

超音速風洞

1.5、7、9
m (直径)

飛行機や、大気中を移動する口を流れる風洞です。1m×1m 超音速が流速を変えられる可変式なので、目的に対応したノズルに付け替えます。

この飛行が可能「極超音速旅

0.44m 極超音速衝撃風洞

風速：マッハ10、12
測定部：0.44m

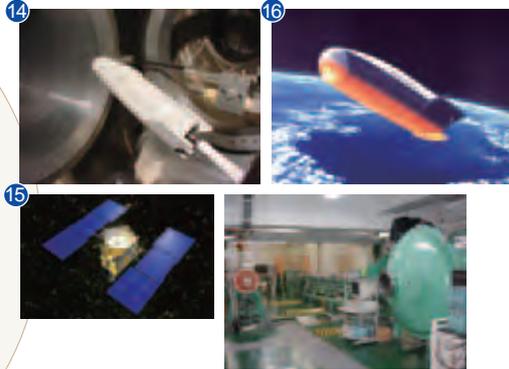
この風洞をつ造ったことで、大気圏に再突入する宇宙機などの飛行体に対して、空力加熱の研究が行えるようになりました。

14 飛行機のように揚力により、極超音速で飛行する機体の開発に必要な技術の取得を目的に 1996 年に行った極超音速飛行実験「HYFLEX」

15 2003 年に打ち上げられ、小惑星「ITOKAWA」を科学観測し、2010 年に試料の入ったカプセルを地球に帰還させた「はやぶさ」

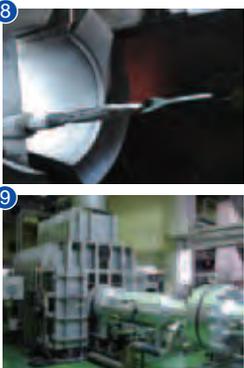
はやぶさのカプセルは地球に再突入する際に高熱にさらされた。カプセルを守る「熱防護材」の試験を行った

16 HYFLEX のイメージ



1966

1967

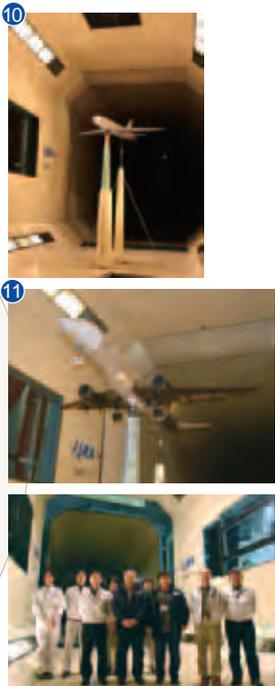


6.5m×5.5m 低速風洞

風速：1～70m/s
測定部：6.5m×5.5m

飛行機の性能を試験できる風洞です。垂直/短距離機) 関係の研究を行うために造りました。測定部、気象観測や毎上監視などに使用できる「多目的発では、実機を入れて風洞試験を行っています。認するための標準模型「ONERA M シリーズ」の様子

研究所が 1980 年代に開発した低騒音短距離離着陸の試験も行った

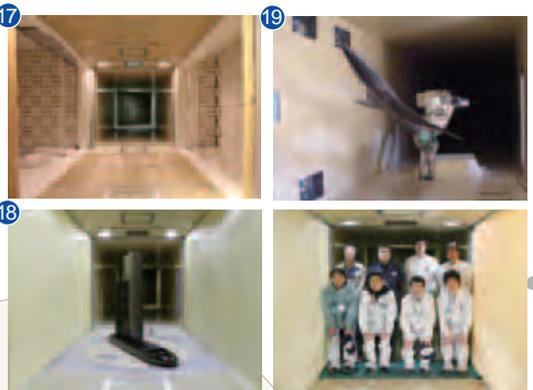


2m×2m 低速風洞

風速：3～60m/s
測定部：2m×2m

航空事故の原因となる突風を発生できる風洞です。1966 年に我が国で航空機事故が多発したのを機に安全性が注目されるようになり、造られました。現在は、騒音計測試験にも用いられています。測定部を無響室にすることができ、音響反射の少ない環境で機体騒音を計測できます。

- 17 測定部側面に吸音材を敷き詰めて「無響室」を作っている
- 18 後縁フラップから発生する騒音を、簡略化した翼形状模型を使って計測
- 19 低速飛行時の小型超音速実験機の性能を調べた



1971

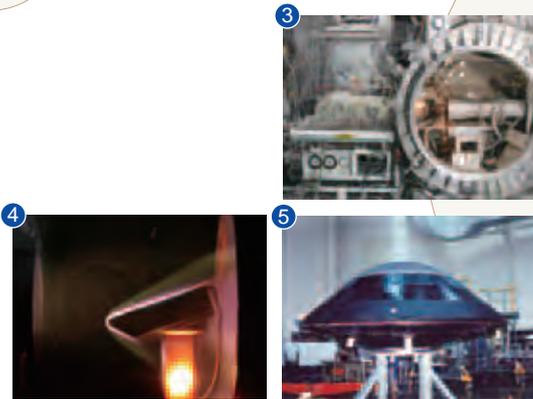
1965



1981

450kW アーク加熱風洞

改修



750kW アーク加熱風洞

風速：マッハ約 4.8
パワー（入力）：750kW

宇宙往還機が地球大気圏へと再突入する時、機体表面は 1000℃以上に加熱されます。その加熱状態を模擬した風洞（加熱風洞）です。プラス（+）とマイナス（-）の電極を配し、その間で放電（アーク放電）を起こすことで発生する熱によって、気流を超高温に加熱します。宇宙往還機は、再突入時の熱によって溶けないよう、表面に耐熱タイルなどの熱防護材が貼ってあります。この風洞では、実際に近い熱環境で熱防護材の評価試験を行うことができます。

- ③ 測定部
- ④ 試験の様子
- ⑤ 軌道からの大気圏再突入に耐える機体の開発に必要な技術の蓄積を目的に、軌道突入実験機「りゅうせい (OREX)」の試験を行った

1993

1.27m 極超音速

風速：マッハ 10
測定部：1.27m

極超音速機や宇宙往還機の一部を共用しています。マッハ数を変更する固定式です。気流が非常に高速です。マッハ 10 の固定式です。⑩ 宇宙ステーションへの往還機「HOPE」1990 年代に計画された⑪ 測定部

1995

1994

0.2m×0.2m 超音速風洞

風速：マッハ 1.5 ~ 2.5
測定部：0.2m×0.2m

超音速機の技術研究を目的に造ります。“連続式超音速風洞を実現するための実証という役割も担っています”⑧ 超音速の気流を作り出す「ノズル」の上下の壁の形を変えることでマッハ 2.5 の流速が可能に⑨ コーン型模型を使って境界層遷移を行っている

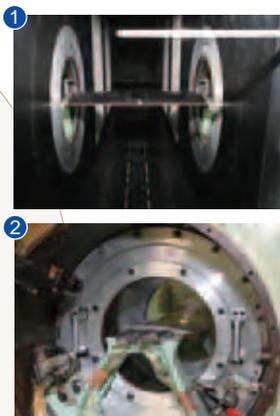


0.8m×0.45m 高レイノルズ数遷音速風洞

風速：マッハ 0.2 ~ 1.4
測定部：0.8m×0.45m

風洞試験の模型は、実機よりも小さいのが一般的です。模型が小さいと、飛行速度（マッハ数）を合わせても、模型周りの風の状態が実機とは異なってしまいます。これを解決するには、レイノルズ数（気流の粘性などに関する値）を実機と同じにする必要があります。しかし、レイノルズ数を実機と同じにするのは難しく、通常はマッハ数のみを合わせて、レイノルズ数の違いによる影響は試験後に補正しています。これを解決するのが“高レイノルズ数”風洞です。気流に圧力を加えることで、実機同様の高いレイノルズ数を実現しています。

- ① 二次元翼模型による試験の様子
- ② 測定部の外から模型を支持することで支持装置による気流の乱れを少なくしている



1988

小型低乱風洞

風速：5 ~ 50m
測定部：0.65m×0.55m

この風洞の特徴は“気流の乱れが小さい”ことです。そのため、翼表面の流れが層流（翼に沿った流れ）から乱流（乱れた流れ）へと変化（遷移）する、境界層遷移を調べる研究に使っています。

- ⑥ 試験の様子
- ⑦ 模型

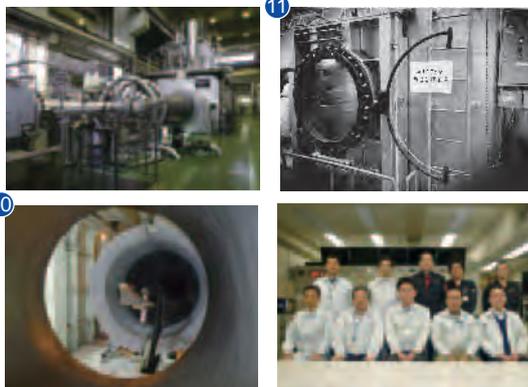


1979

速風洞

機の開発に必要なデータの取得を行う風の流れを作る 0.5m 極超音速風洞と設備す。0.5m 極超音速風洞がノズルを交換するのに対し、1.27m 極超音速風洞はマッ1.27m という測定部は世界最大級の大に安定しているのも大きな特長です。の物資の輸送などを目的とする無人宇宙

したが、現在は研究開発を凍結している



洞

った風洞でける技術”
。の断面ッハ 1.5 ~
遷移試験を



2004

110kW 誘導プラズマ加熱風洞

風速：亜音速
パワー（入力）：110kW

コイルが作る電磁場により気流を加熱する風洞（加熱風洞）です。気流速度は遅いのですが、アーク風洞で問題となる銅電極の溶解がなく、再突入時に起こる実際の気流の振舞いをより良く模擬することができます。気流が汚れないため維持管理が簡略化でき、風洞の稼働率と機動性を向上させています。

13 試験の様子

2013~

デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞「DAHWIN(ダーウィン)」始動

つづりは違うが、『種の起源』で有名なチャールズ・ロバート・ダーウィンとかけている。“勝利 (win)” という意味も込めた。



磁力支持風洞

風速：～ 45m/s 以上
測定部：0.6m×0.6m

通常の風洞では、模型を支持装置で空中に固定する必要があります。この支持装置が飛行状態の完全な模擬を妨げています。そこで考えられたのが、磁力で模型を空中に固定する磁力支持風洞です。支持装置による気流の乱れが無くなるため、後流計測に最適です。また、飛行船の様な、それ自体に加わる力が非常に小さい形状の模型に対しても、威力を発揮します。JAXA の磁力支持風洞の測定部は世界最大を誇っています。

12 模型が浮いている様子が見えるだろう



1999

空 宙 情 報

低毒性高性能推進薬スラスタ 「PulCheR(プリキュア)」研究開始

低毒性高性能推進薬を用いたパルススラスタ (Pulsed Chemical Rocket with Green High Performance Propellants)、略称「PulCheR (プリキュア)」の研究プロジェクトがFP7*先端科学研究助成プログラムに採択されました。このプロジェクトには、伊アルタ社取りまとめのもと、JAXAの推進系グループを含む世界8カ国9機関が参加しています。

PulCheRは、プロジェクトのロゴにもなっているBombardier Beetle(へっぴりむし、図1)の原理を応用しています。低毒性の推進薬を、高頻度にパルス推力(短時間な推力)で発生させることが可能な、1液式および2液式推進系システムの研究です。



図1 PulCheRのロゴ へっぴりむし
へっぴりむしは体内でふたつの物質を作り、化学反応させて高温高压のガスを噴射することで外敵から身を守っている。



図2 各団体の作業や内容を決めるキックオフミーティングでのひとこま

PulCheRの特徴

- 5気圧という低圧での作動：現状のシステムは、10気圧を超える高压であり種々の規制がある。
- パルス動作による高压燃焼：推進薬を燃焼室に低圧で送り込み、燃焼室で急激に燃焼させるので高性能。
- 毒性のない推進剤：プロピンC₃H₄と過酸化水素H₂O₂という毒性の低い推進薬の利用。
- 簡単な系統：高価な調圧システムを廃したブローダウン式のシンプルな構成。

という世界的にも例が無い独創的なアイデアが欧州会議に評価され、採択に至ったと考えています。今後3年間で、システムを含めて実現性に目処をつける研究計画となっています。研究開始に先立ち、2月7日に参加機関の担当者が伊アルタ社に集合し、各団体の作業や内容を決めて、研究が開始されました(図2)。

(推進系グループ 長田 泰一、香河 英史、梶原 堅一)

※FP7：欧州全体の国際競争力や技術力を向上させることを目的に、欧州における研究活動を助成する欧州委員会の政策

PulCheR HP (英語)

<http://www.alta-space.com/pulcher/>

【開催案内】 施設公開

当本部では毎年、4月の科学技術週間に合わせて様々な施設・設備を公開しています。今年もたくさんの施設・設備を公開します。各種イベントも開催しますので、皆さまお誘い合わせのうえご来場ください。

詳細はJAXAのホームページで紹介しています。ご不明な点などありましたら、各センターに直接お問い合わせください。

JAXA HP <http://www.jaxa.jp/> ※ イベントページ (2013年4月) をご覧ください。

筑波宇宙センター

所在地：茨城県つくば市千現2-1-1

開催日時：4月20日(土) 10:00～16:00

※入場は15:30まで

「筑波宇宙センターを知ろう！」

【お問合せ先】

筑波宇宙センター 広報係 電話：050-3362-6265

調布航空宇宙センター

所在地：東京都調布市深大寺東町7-44-1

開催日時：4月21日(日) 10:00～16:00

※入場は15:30まで

【お問合せ先】

調布航空宇宙センター 広報 電話：050-3362-8036