



## JAXA宇宙科学研究本部の高速気流総合実験設備を利用した風洞実験：実施報告

|       |                                                                                                                                                                 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者: 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター<br>公開日: 2016-04-26<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 工藤, 摩耶, 笹山, 容資, 桑田, 耕明, 溝端, 一秀, 丸, 祐介, 棚次, 亘弘<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/10258/00008706">http://hdl.handle.net/10258/00008706</a>                                                                         |

## JAXA宇宙科学研究本部の高速気流総合実験設備を利用した風洞実験：実施報告

|     |                                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 著者  | 工藤 摩耶, 笹山 容資, 桑田 耕明, 溝端 一秀<br>丸 祐介, 棚次 亘弘                                               |
| 雑誌名 | 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次<br>報告書                                                          |
| 巻   | 2007                                                                                    |
| ページ | 7-15                                                                                    |
| 発行年 | 2008-09                                                                                 |
| URL | <a href="http://hdl.handle.net/10258/00008706">http://hdl.handle.net/10258/00008706</a> |

# JAXA 宇宙科学研究本部の高速気流総合実験設備を利用した風洞試験 — 実施報告

---

工藤 摩耶(機械システム工学専攻 航空宇宙機システム研究室)

笹山 容資(機械システム工学専攻 航空宇宙機システム研究室)

○ 桑田 耕明(航空宇宙システム工学専攻 航空宇宙機システム研究室)

溝端 一秀(機械システム工学科 准教授)

丸 祐介(航空宇宙機システム研究センター 博士研究員)

棚次 亘弘(航空宇宙機システム研究センター長 教育研究等支援機構 教授)

---

## 1. 試験の概要

### 1.1 試験題目

「小型無人超音速機の昇降舵による安定性と表面粗さが空力特性に及ぼす影響に関する研究」

### 1.2 試験の目的

航空宇宙機システム研究センター (APReC) では、国内 4 大学 (室蘭工業大学, 東京大学, 九州大学, 大阪府立大学) による連携の下, 小型無人超音速機の研究開発プロジェクトを進めている[1]. 昨年度に設計した M2006 型機体は推力余裕の観点では, 超音速飛行が可能であると予測された. そこで本年度は, 実際の飛行の際に問題となる縦の安定性を確認することを目的とする.

また, 基盤技術の飛行実証を行う際機器の取り付けや取り扱いを容易にするため, 機体表面に段差や凹凸など (以下, 表面粗さ) を許容せざるを得ない. そこで本研究では表面粗さによる小型無人超音速機の空力特性に与える影響を風洞試験により評価する.

### 1.3 試験実施期間

平成 19 年 7 月 30 日 (月) ~ 8 月 3 日 (金)

平成 19 年 8 月 6 日 (月) ~ 8 月 10 日 (金) (述べ 10 日間).

### 1.4 試験従事者

本風洞試験の従事者を表 1 に, 宇宙科学研究本部内共同研究者および風洞試験設備利用補佐者を表 2 にまとめる.

## 2. 試験設備・試験機器等

### 2.1 試験装置

本試験では, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 (JAXA/ISAS) の高速気流総合実験設備 [2] (図 1) 内に設置されている遷音速風洞試験装置 (図 2(a)) と超音速風洞試験装置 (図 2(b)) を使用した. 当設備の主な仕様[3]を表 3 に示す. 両風洞試験装置は共に間欠吹き出し式風洞であ

表 1 風洞試験者一覧

| CC    | 所属                         | 職名／学年    | 備考      | 従事期間           |
|-------|----------------------------|----------|---------|----------------|
| 棚次 亘弘 | 室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター     | センター長・教授 | 研究代表者   |                |
| 溝端 一秀 | 室蘭工業大学 機械システム工学科           | 准教授      |         | 7月30日，8月7日～10日 |
| 丸 祐介  | 室蘭工業大学 航空宇宙機システム研究センター     | 研究員      | 試験従事責任者 | 7月30日～8月10日    |
| 工藤 摩耶 | 室蘭工業大学 大学院工学研究科 機械システム工学専攻 | 修士課程2年   |         | 8月1日～10日       |
| 笹山 容資 | 室蘭工業大学 大学院工学研究科 機械システム工学専攻 | 修士課程1年   |         |                |
| 桑田 耕明 | 室蘭工業大学 工学部 機械システム工学科       | 工学部4年    |         | 7月30日～8月10日    |

表 2 宇宙科学研究本部内共同研究者，および風洞試験設備利用補佐者

| 氏名    | 所属                  | 職名 | 備考       |
|-------|---------------------|----|----------|
| 坪井 伸幸 | 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 | 技官 | 本部内共同研究者 |
| 入門 朋子 | 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 | 技官 | 試験設備利用補佐 |
| 大屋    | 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 | 技官 | 試験設備利用補佐 |

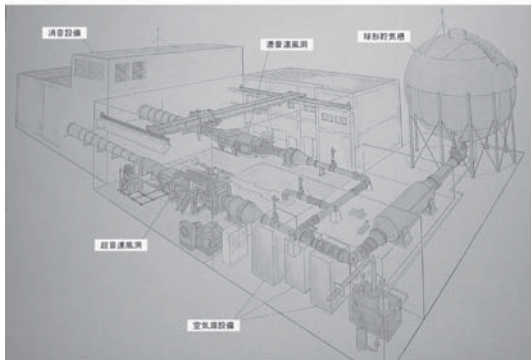
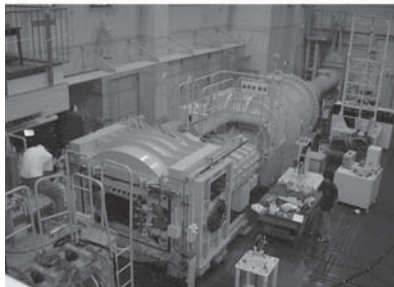


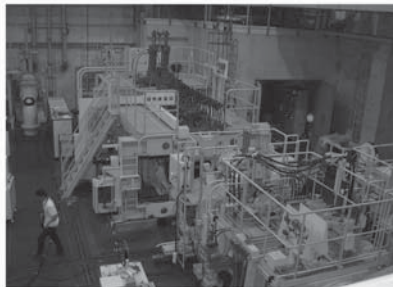
図 1 JAXA 宇宙科学研究本部 高速気流総合実験設備の全体図。

表 3 JAXA 宇宙科学研究本部 高速気流総合実験設備の主な仕様[2], [3]。

| 装置の名称  | 遷音速風洞試験装置                                                                                              | 超音速風洞試験装置               |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 風洞形式   | 間欠吹き下し型                                                                                                | 間欠吹き下し型<br>(エジェクタ排気式)   |
| 測定部寸法  | 幅 600 mm × 高さ 600 mm                                                                                   | 幅 600 mm × 高さ 600 mm    |
| マッハ数範囲 | 0.3 ～ 1.3                                                                                              | 1.5 ～ 4.0               |
| 計測時間   | 30 秒以上                                                                                                 | 30 秒以上                  |
| 空気源設備  | ・空気圧縮機出口圧力: 11 kg/cm <sup>2</sup> G<br>・貯気槽圧力: 9.5 kg/cm <sup>2</sup> G<br>・貯気槽容積: 1,767m <sup>3</sup> |                         |
| 変角範囲   | 迎角, 横滑り角<br>±15 deg. 以内                                                                                | 迎角, 横滑り角<br>±15 deg. 以内 |
| 特徴     | 1. 模型変角に対して一定マッハ数制御<br>2. 模型一定姿勢角に対してマッハ数スweep可能                                                       | エジェクタ併用により<br>低圧始動可能    |



(a) 遷音速風洞試験装置



(b) 超音速風洞試験装置



(c) 風洞試験装置の中央制御盤

図 2 JAXA 宇宙科学研究本部 高速気流総合実験設備。

り，前者の試験マッハ数は 0.3～1.3 後者の試験マッハ数は 1.5～4.0 である．いずれも最大通風計測時間は 30 秒以上，測定室の寸法は 600 mm×600 mm（矩形）である．

## 2.2 風洞試験用機体模型

本風洞試験の実施にあたり，昨年度試験を行った M2006 型風洞試験用模型（図 3）に全可動水平尾翼を設置した．水平尾翼と垂直尾翼は別々に製作し，いもネジ，接着剤及びパテで垂直尾翼

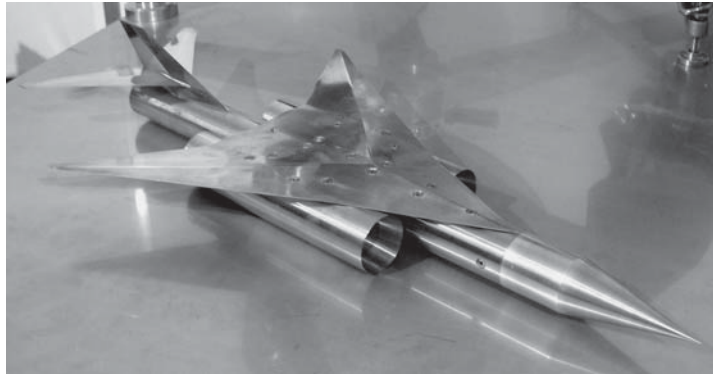
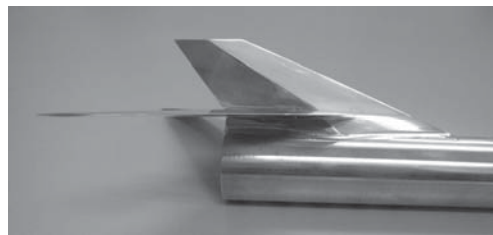
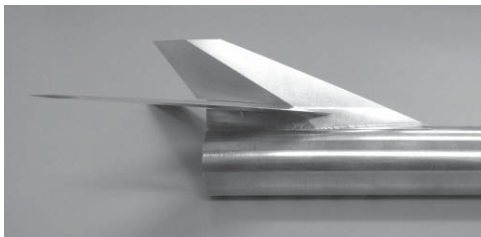


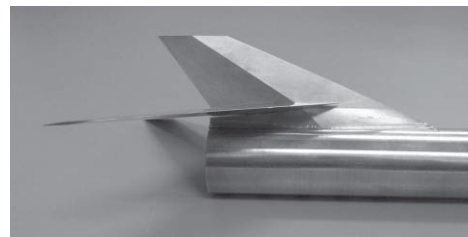
図3 M2006 型機体の風試模型



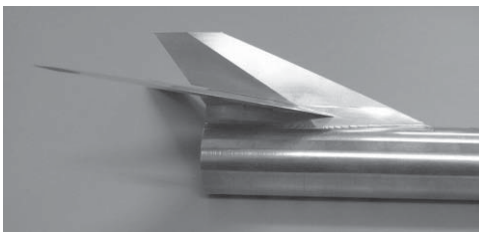
(a) 舵角 0deg.



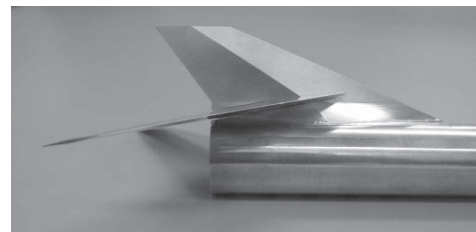
(b) 舵角 -5deg.



(c) 舵角 +5deg.

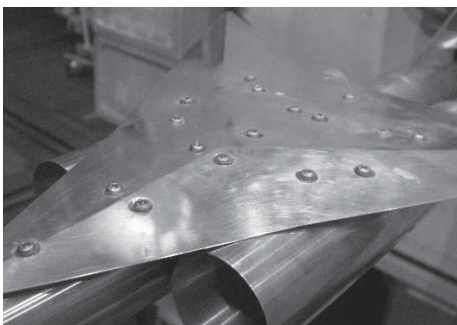


(d) 舵角 -10deg.

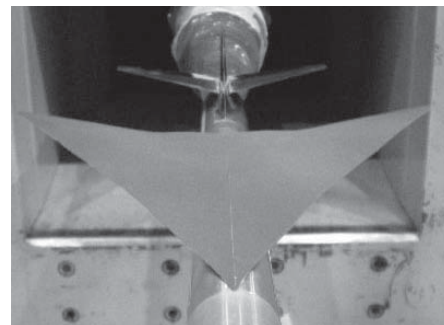


(e) 舵角 +10deg.

図4 昇降舵の舵角設定



(a) ネジの頭による表面の凹凸の模擬



(b) サンドペーパーによる表面粗さの模擬

図5 表面粗さ及び凹凸の設置

と水平尾翼を接合する．一体となった垂直尾翼及び水平尾翼は胴体にビス止めする．設定する舵の角度は、-10, -5, 0, 5, 10deg.とする（図 4）．また、表面粗さを模擬するために、図 5 に示すように主翼の上面にネジの頭(a)やサンドペーパー(b)を取り付ける．

### 3. 試験方法と試験項目

本風洞試験では、昇降舵を変化させたときの M2006 型模型に作用する空気力、及び表面粗さを取り付けたときの空気力を測定した．空気力の測定にはφ25 mm の 6 分力内装天秤（図 6）を使用し、昇降舵の性能に関しては亜音速と遷音速域の空気力データを重点的に取得した．また、表面粗さに関しては超音速域の空気力データを重点的に取得した．測定項目としては、機体模型に作用する空気力、測定室の空気の状態量（全温，全圧，静圧），機体模型の姿勢角（迎角，ヨー角，バンク角）（図 7），機体模型のベース部（図 8）の圧力（4 点）を設けた．

本風洞試験における通風条件を表 5 に示す．亜音速域の通風試験における迎角範囲は-10～10 deg.程度，遷音速域／超音速域の通風試験における迎角範囲は-4～4 deg.程度とした．横力特性試験におけるヨー角範囲は-2～2 deg.とした．また，全試験を通してシュリーレン映像を撮影した．

本風洞試験における通風試験の回数と作業記録等を表 6 に、その通風試験の詳細を表 7 に示す．

### 4. 試験結果

機体の重心を空力平均翼弦の 30%位置に仮定した場合， $M=0.3$ ， $0.5$  では迎角-6～8deg.， $M=0.7$  では，迎角-5～6deg.， $M=1.5$  では迎角-3～1deg.で定常飛行できることがわかった．さらに M2006 機体の重心後方限界は空力平均翼弦の 50%位置であることも確認した．また  $M=0.5$  以上では舵角を大きくすると水平尾翼が失速することが分かった．また縦の静安定を保った状態で， $M=0.16\sim0.24$ （約 200km/h～300km/h）で離着陸飛行できることが分かった．表面粗さに関しては，ネジの頭やサンドペーパーの機体表面粗さによる空力特性への影響は，天秤秤量の 1%を計測の誤差としたときに，殆どの影響がないことが分かった．

表 4 試験条件

| 試験<br>Mach数 | 迎角<br>deg. | ヨー角<br>deg. | 昇降舵角<br>deg. |    |   |   |    | 表面凹凸 | 表面粗さ | エンジン<br>抗力試験 | Mach数<br>遷移試験 | シュリーレン<br>映像 | 全圧<br>atm | エジェクタ<br>圧<br>atm | 使用風洞  |
|-------------|------------|-------------|--------------|----|---|---|----|------|------|--------------|---------------|--------------|-----------|-------------------|-------|
|             |            |             | -10          | -5 | 0 | 5 | 10 |      |      |              |               |              |           |                   |       |
| 0.3         | -10～10     | -2～2        | ○            | ○  | ○ | ○ | ○  | ○    | -    | ○            | -             | ○            | 1.5       | -                 | 遷音速風洞 |
| 0.5         | -10～10     | -2～2        | ○            | ○  | ○ | ○ | ○  | -    | -    | -            | -             | ○            | 1.5       | -                 | 遷音速風洞 |
| 0.7         | -4～4       | -2～2        | ○            | ○  | ○ | ○ | ○  | ○    | -    | ○            |               | ○            | 1.5       | -                 | 遷音速風洞 |
| 0.8         | -          | -           | -            | -  | ○ | - | -  | -    | -    | -            | ○             | ○            | 1.5       | -                 | 遷音速風洞 |
| 0.9         | -4～4       | -2～2        | ○            | ○  | ○ | ○ | ○  | -    | -    | -            |               | ○            | 1.5       | -                 | 遷音速風洞 |
| 1.1         | -4～4       | -2～2        | ○            | ○  | ○ | ○ | ○  | -    | -    | ○            |               | ○            | 1.5       | -                 | 遷音速風洞 |
| 1.3         | -4～4       | -2～2        | ○            | ○  | ○ | ○ | ○  | -    | -    | -            |               | ○            | 1.5       | -                 | 遷音速風洞 |
| 1.5         | -4～4       | -2～2        | -            | ○  | ○ | ○ | -  | -    | -    | -            | -             | ○            | 1.5       | 3.9               | 超音速風洞 |
| 2.0         | -4～4       | -2～2        | -            | ○  | ○ | ○ | -  | ○    | ○    | -            | -             | ○            | 1.5       | 3.9               | 超音速風洞 |



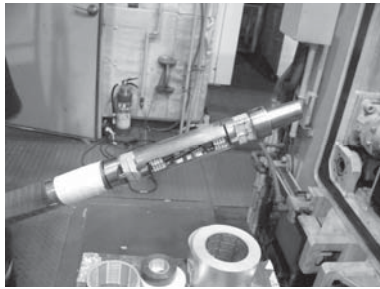


図6 6分力内装天秤；機体模型の内部に固定。

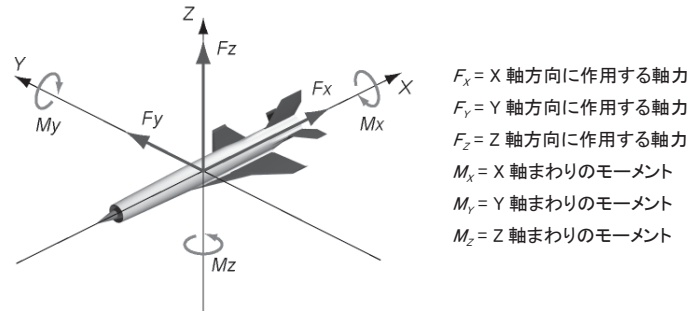


図7 機体模型に作用する6分力（内装天秤に作用する軸力）。

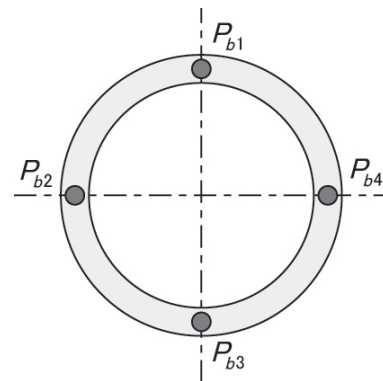
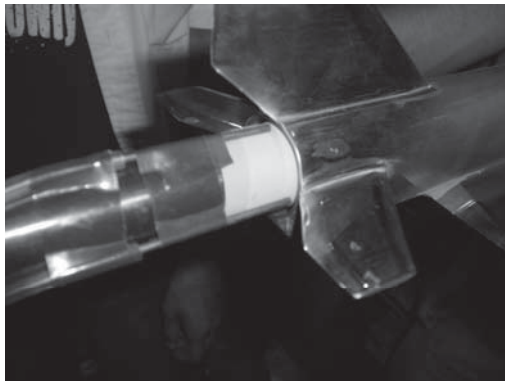


図8 機体模型のベース圧力測定位置（後方視点）。

表5 風洞試験における測定項目。

|            |                                                                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 空気力(6分力)   | 軸力 $F_x$ , kg<br>軸力 $F_y$ , kg<br>軸力 $F_z$ , kg<br>モーメント $M_x$ , kgm<br>モーメント $M_y$ , kgm<br>モーメント $M_z$ , kgm |
| 空気の状態量     | 測定室の全温 $T_t$ , K<br>測定室の全圧 $P_t$ , kPa<br>測定室の静圧 $P_s$ , kPa                                                   |
| 模型の姿勢角     | 迎角 $\alpha$ , deg.<br>ヨー角 $\beta$ , deg.<br>ロール角 $\gamma$ , deg.                                               |
| 機体模型のベース圧力 | ベース圧力 1 $P_{b1}$ , kPa<br>ベース圧力 2 $P_{b2}$ , kPa<br>ベース圧力 3 $P_{b3}$ , kPa<br>ベース圧力 4 $P_{b4}$ , kPa           |

## 5. まとめ

JAXA 宇宙科学研究本部の高速気流総合実験設備（遷音速風洞試験装置，超音速風洞試験装置）を利用して，航空宇宙機システム研究センターが研究開発を進めている M2006 型機体形状について昇降舵による縦の静安定性について調べた．今回の風洞試験により M2006 機体の縦の静安定を確かめることが出来た．今後，横の静安定及び操縦性も風洞試験により確かめこの機体の基本的な空力性能を調べる．そしてこの結果を元に機体の空力特性の問題点・改善点を洗い出し，再設

計に生かす予定である。一方表面粗さについては、今回設定したネジの頭やサンドペーパーに関しては模型の空力特性に与える影響が殆どないことを確認した。今後この試験データは小型無人超音速機を運用する際、表面粗さによる機体の空力特性の影響を見積もる際の重要な指針となる。加えて今後の風洞試験においても作業上の問題による模型の表面粗さが試験結果に及ぼす影響を見積もる際の貴重なデータとなる。

表 6 通風試験の回数と作業記録.

| 試験日  | 通風回数      |            |    | 主な作業                                                                                                                                                                           | 備考                                                                                                                                              |
|------|-----------|------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | テスト<br>通風 | 空力測定<br>試験 | 計  |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                 |
| 7/30 | 1         | 0          | 1  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ミーティング.</li> <li>・シュリーレン光学系の設定・調整.</li> <li>・圧力計測系の設定.</li> <li>・天秤の取付.</li> <li>・模型の取付, ゼロ点設定, ネジ穴の粘土埋め等.</li> <li>・テストブロー</li> </ul> |                                                                                                                                                 |
| 7/31 | 0         | 12         | 12 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の調整.</li> <li>・ゼロ点の設定確認, ネジ穴の粘土埋め等.</li> <li>・通風試験 (基礎空力)</li> <li>・取得データの解析</li> </ul>                                       |                                                                                                                                                 |
| 8/1  | 0         | 7          | 7  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の設定・調整.</li> <li>・通風試験 (エレベータ性能)</li> <li>・ネジ穴の粘土埋め等.</li> <li>・模型の取り付け</li> </ul>                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・亜音速域において, 重心位置空力翼弦 50% では静安定が取れないことが分かった.</li> <li>・模型のネジを取り外すときに, ネジの頭がつぶれてしまい, 取り外すのに苦勞する.</li> </ul> |
| 8/2  | 0         | 8          | 8  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の調整.</li> <li>・ゼロ点設定, ネジ穴の粘土埋め等.</li> <li>・通風試験 (基礎空力)</li> <li>・取得データの解析.</li> </ul>                                         |                                                                                                                                                 |
| 8/3  | 0         | 7          | 7  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の調整.</li> <li>・模型の取付, ゼロ点設定, ネジ穴の粘土埋め等.</li> <li>・通風試験 (機体表面凹凸試験)</li> <li>・取得データの解析.</li> <li>・試験項目の再検討.</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・空気弁異常発生, その後復旧する.</li> </ul>                                                                            |



|      |   |    |    |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                             |
|------|---|----|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8/6  | 0 | 6  | 6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の設定・調整.</li> <li>・通風試験（水平尾翼取り外し，表面の凹凸，エンジン内圧力測定）</li> <li>・取得データの解析.</li> <li>・模型の取付，ゼロ点設定，ネジ穴の粘土埋め等.</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・水平尾翼の効きを確かめる<br/>目的で水平尾翼を取り外して試験を追加.</li> <li>・エンジン内圧力測定で，チューブがフランジに挟まっており，正常な計測が出来なかった.</li> </ul> |
| 8/7  | 0 | 2  | 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の調整.</li> <li>・ゼロ点設定，ネジ穴の粘土埋め等.</li> <li>・通風試験（エンジン内圧力計測）</li> <li>・遷音速風洞から超音速風洞に移動する.</li> <li>・取得データの解析.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・遷音速風洞から超音速風洞に移動</li> <li>・溝端先生と桑田は，天秤の較正に移る.</li> </ul>                                             |
| 8/8  | 0 | 6  | 6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の調整.</li> <li>・模型の取付，ゼロ点設定，ネジ穴の粘土埋め等.</li> <li>・通風試験（基礎空力）</li> <li>・取得データの解析.</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・迎角範囲-4～4deg.，刻み角1deg.で通風した結果空気不足になり，通風を中止する.</li> </ul>                                             |
| 8/9  | 0 | 7  | 7  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の調整.</li> <li>・通風試験（基礎空力，エンジン無し，エレベータ性能，水平尾翼なし，表面の凹凸）</li> <li>・取得データの解析.</li> </ul>                                  |                                                                                                                                             |
| 8/10 | 0 | 6  | 6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュリーレン光学系の調整.</li> <li>・通風試験（基礎空力，エンジン無し，表面粗さ）</li> <li>・取得データの解析.</li> </ul>                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・サンドペーパーを取り付けて表面粗さを模擬する.</li> </ul>                                                                  |
| 総計   | 1 | 61 | 62 |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                             |

表 7 風洞試験の通風作業記録の詳細.

| 2007年度 JAXA/ISAS風洞試験項目検討 |     |        |               |       |       |               |         |                                   |                                |                       |
|--------------------------|-----|--------|---------------|-------|-------|---------------|---------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 日程                       | No. | 通風開始時刻 | 通風番号          | 使用風洞  | 使用模型  | 試験の種類         | マッハ数    | 迎角範囲[deg]<br>( )内は刻み角<br>ピッチ角 ヨー角 | 舵角[deg]<br>(後縁が下<br>がる方を<br>正) | 備考                    |
| 7月30日                    | 1   | -      | 01-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | テストブロー        | 0.3     | 0~2(1)                            | 0                              | -                     |
| 7月31日                    | 2   | 10:20  | 02-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 0.3     | -2~10(2)                          | 0                              | -                     |
|                          | 3   | 10:50  | 03-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 0.5     | -2~10(2)                          | 0                              | -                     |
|                          | 4   | 11:27  | 04-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 0.7     | -2~4(1)                           | 0                              | -                     |
|                          | 5   | 11:55  | 05-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 0.9     | -2~4(1)                           | 0                              | -                     |
|                          | 6   | 13:27  | 06-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 1.1     | -2~4(1)                           | 0                              | -                     |
|                          | 7   | 14:14  | 07-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 1.3     | -2~4(1)                           | 0                              | -                     |
|                          | 8   | 15:16  | 08-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 0.3     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
|                          | 9   | 15:43  | 09-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 0.5     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
|                          | 10  | 16:15  | 10-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 0.7     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
|                          | 11  | 16:42  | 11-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 0.9     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
|                          | 12  | 17:06  | 12-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 1.1     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
|                          | 13  | 17:30  | 13-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 1.3     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
| 8月1日                     | 14  | 10:30  | 14-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 0.8~1.3 | 0                                 | 0                              | - マッハスウィープ試験          |
|                          | 15  | 11:20  | 15-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エンジン無し        | 0.3     | -2~10(2)                          | 0                              | -                     |
|                          | 16  | 11:45  | 16-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エンジン無し        | 0.8~1.3 | 0                                 | 0                              | - マッハスウィープ試験          |
|                          | 17  | 14:11  | 17-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.3     | -10~10(2)                         | 0                              | 5                     |
|                          | 18  | 15:15  | 18-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.5     | -10~10(2)                         | 0                              | 5                     |
| 8月2日                     | 19  | 15:52  | 19-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | 5                     |
|                          | 20  | 16:32  | 81-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.9     | -4~4(1)                           | 0                              | 5 エレベータ5deg. 追加試験     |
|                          | 21  | 10:56  | 20-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.3     | -10~10(2)                         | 0                              | -5                    |
|                          | 22  | 11:25  | 21-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.5     | -10~10(2)                         | 0                              | -5                    |
|                          | 23  | 11:51  | 22-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | -5                    |
|                          | 24  | 13:05  | 82-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.9     | -4~4(1)                           | 0                              | -5 エレベータ-5deg. 追加試験   |
|                          | 25  | 14:46  | 25-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | 10                    |
|                          | 26  | 15:23  | 23-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.3     | -10~10(2)                         | 0                              | 10                    |
| 8月3日                     | 27  | 15:50  | 24-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.5     | -10~10(2)                         | 0                              | 10                    |
|                          | 28  | 16:20  | 83-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.9     | -4~4(1)                           | 0                              | 10 エレベータ10deg. 追加試験   |
|                          | 29  | 10:29  | 84-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.9     | -4~4(1)                           | 0                              | -10 エレベータ-10deg. 追加試験 |
|                          | 30  | 10:55  | 28-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | -10                   |
|                          | 31  | 11:23  | 27-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.5     | -10~10(2)                         | 0                              | -10                   |
|                          | 32  | 11:49  | 26-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 0.3     | -10~10(2)                         | 0                              | -10                   |
|                          | 33  | 14:52  | 38-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 主翼) | 0.3     | -2~10(2)                          | 0                              | - M2トラスネジの頭を使用        |
|                          | 34  | 15:25  | 85-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 主翼) | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | - M2トラスネジの頭を使用        |
|                          | 35  | 16:38  | 86-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 主翼) | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | - M3トラスネジの頭を使用        |
|                          | 36  | 10:35  | 87-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 水平尾翼なし        | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | - 追加試験                |
| 8月6日                     | 37  | 11:02  | 88-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 水平尾翼なし        | 0.3     | -10~10(2)                         | 0                              | - 追加試験                |
|                          | 38  | 14:45  | 89-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 胴体) | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | - M3トラスネジの頭を使用        |
|                          | 39  | 15:55  | 91-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | 表面の段差(胴体)     | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | - アルミテープ(厚さ2mm, 幅5mm) |
|                          | 40  | 17:02  | 46-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エンジン内圧力測定試験   | 1.1     | -4~4(1)                           | 0                              | -                     |
|                          | 41  | 17:32  | 45-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エンジン内圧力測定試験   | 0.7     | -4~4(1)                           | 0                              | -                     |
| 8月7日                     | 42  | 10:20  | 44-M06-1-TS   | 遷音速風洞 | M2006 | エンジン内圧力測定試験   | 0.3     | -10~10(2)                         | 0                              | -                     |
|                          | 43  | 17:10  | 60-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 1.5     | -4~4(1)                           | 0                              | -                     |
|                          | 44  | 10:34  | 59-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | エンジン無し        | 1.5     | -4~4(1)                           | 0                              | - 空気量不足のため通風中止        |
| 8月8日                     | 45  | 12:10  | 59-M06-1-SS-A | 超音速風洞 | M2006 | エンジン無し        | 1.5     | -4~4(2)                           | 0                              | - 59-M06-1-SSの再試験     |
|                          | 46  | 14:29  | 64-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 1.5     | -4~4(2)                           | 0                              | 5                     |
|                          | 47  | 15:32  | 63-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 1.5     | -4~4(2)                           | 0                              | -5                    |
|                          | 48  | 16:32  | 61-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 1.5     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
|                          | 49  | 17:29  | 56-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ヨー方向)  | 2.0     | 0                                 | -2~2(1)                        | -                     |
| 8月9日                     | 50  | 10:25  | 54-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | -                     |
|                          | 51  | 11:23  | 55-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | エンジン無し        | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | -                     |
|                          | 52  | 13:18  | 62-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | 5                     |
|                          | 53  | 14:09  | 65-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | エレベータ性能試験     | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | -5                    |
|                          | 54  | 15:00  | 88-M06-1-TS   | 超音速風洞 | M2006 | 水平尾翼なし        | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | -                     |
|                          | 55  | 16:10  | 69-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 主翼) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - M2トラスネジの頭を使用        |
|                          | 56  | 17:04  | 92-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 主翼) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - M3トラスネジの頭を使用        |
| 8月10日                    | 57  | 9:56   | 94-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 胴体) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - M3トラスネジの頭を使用        |
|                          | 58  | 10:43  | 97-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 表面の凹凸(ネジ, 胴体) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - M2トラスネジの頭を使用        |
|                          | 59  | 11:30  | 67-M06-1-SS   | 超音速風洞 | M2006 | 表面の段差(胴体)     | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - アルミテープ              |
|                          | 60  | 12:16  | 54-M06-1-SS-A | 超音速風洞 | M2006 | 空力測定試験(ピッチ方向) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - 54-M06-1-SSの再試験     |
|                          | 61  | 13:40  | 101-M06-1-SS  | 超音速風洞 | M2006 | 表面粗さ(サンドペーパー) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - サンドペーパー-粗さなし        |
|                          | 62  | 14:20  | 102-M06-1-SS  | 超音速風洞 | M2006 | 表面粗さ(サンドペーパー) | 2.0     | -4~4(2)                           | 0                              | - サンドペーパー(#600)       |

## 謝辞

風洞試験用供試体模型の製作にあたっては、有限会社馬場機械製作所の馬場義則様と同製作所の従業員の皆様、ならびに日鋼デザイン株式会社の山田富士夫様、佐々木和之様より、多大なるご協力とご尽力を賜りました。

風洞試験の実施にあたり、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部（ISAS/JAXA）の高速気流総合実験設備を利用させて頂いた際には、同研究本部の坪井先生、入門様、大屋様より多大なるご支援とご助言を賜りました。

ご支援、ご協力を頂きました全ての皆様に、深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] K. Mizobata, R. Minato, N. Tanatsugu, H. Kimura, T. Himeno, H. Kobayashi, T. Kojima, S. Aso, Y. Tani, T. Arai, “Development Plan of a Small-scale Supersonic Flight Experiment Vehicle in Cooperation between Universities”, 25th International Symposium on Space Technology and Science, 2006-g-20, June 4-11, 2006, Kanazawa, Japan.
- [2] <http://www.isas.jaxa.jp/home/wtlab/>, 高速気流総合実験設備ホームページ, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部.
- [3] “高速気流総合実験設備操作マニュアル（1998年度版）”, 文部省宇宙科学研究所（現宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部）風洞委員会, 1998.

## 本風洞試験に関する発表論文等

- [1] 工藤 摩耶, 棚次 亘弘, 溝端 一秀, 丸 祐介, 笹山 容資, 桑田 耕明（室蘭工大）, 新井 隆景, 楠亀 拓也, 久保 良介（阪府大）, 坪井 伸幸（JAXA/ISAS）“小型超音速飛行実験機の空力設計と空力性能評価”, 平成 19 年度宇宙輸送シンポジウム, 相模原, 2008 年 1 月.
- [2] 工藤 摩耶, “小型超音速有翼機の昇降舵による安定性に関する研究”, 室蘭工業大学修士学位論文, 2008 年 1 月.