



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## 中型超音速風洞の気流特性：その2

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター 公開日: 2016-04-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高木, 正平, 高田, 晃輔 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008797">http://hdl.handle.net/10258/00008797</a>

## 中型超音速風洞の気流特性—その2

○ 高木 正平（航空宇宙機システム研究センター 教授）

高田 晃輔（航空宇宙システム工学専攻 M2）

### 1. はじめに

2011 年度に引き続いて超音速風洞の測定部における気流評価を継続している。特に、本風洞は大気を吸入するために気流特性は大気湿度の影響を受けることから、湿度に対する気流の変動強度や変動特性との相関を把握することを目的としている。測定部主流の気流を評価するために、前回と同様に 10 度円錐模型に埋め込んだ非定常圧力センサーを用いて静圧変動を計測する。また測定部の凝縮濃度は主流直角から微小径のレーザー光を透過させ、凝縮によるレーザー光の散乱による受光特性から評価する。境界層遷移は主流変動に極めて敏感であることは周知である。たとえば、三次元境界層を層流から乱流に導く横流れ不安定から、定在モードと進行波モードの二種類が成長するが、特に前者は気流変動に敏感であることが知られており、この性質を利用して気流変動のレベルを示す指標とする。そのために後退円柱表面に発達する三次元境界層の遷移過程で成長する横流れ定在モードを可視化した結果も併せて報告する。

### 2. 実験装置

#### 2.1 超音速風洞

今回の気流評価はマッハ数 2 の超音速ノズル測定部で実施した。測定部の断面は幅並びに高さは 400mm の正方形で、その下流の模型保持機構に円錐模型あるいは斜め円柱模型を設置した。詳細は、2011 年度年次報告書を参照のこと。

#### 2.2 円錐模型と後退円柱模型

測定部気流の静圧変動は全長 250mm の 10 度円錐模型の先端から 120mm の位置に開けた直径 0.5mm の静圧孔の下に埋め込んだ Kulite 圧力センサーで計測した。周波数特性は 30kHz まで平坦である。

三次元境界層遷移の試験には、図 1 に示すようにステンレス製の直径 40mm、軸長 500mm の円柱模型を主流に対して 60 度の後退角を持たせ、中央部を保持して鉛直面内に設置した。模型先端と後端はいずれも流れに対して平行に切り落とした。横流れ不安定に起因して成長する定在モードの縦渦列はオイルフロー法を用いて円柱表面の可視化を行った。通風中にはビデオカメラで、また通風後は静止画像を取得した。

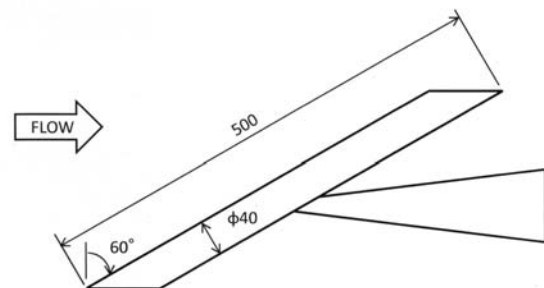


図 1 斜め円柱模型

#### 2.3 凝縮濃度計測と絶対湿度の算出

大気湿度が高ければ超音速ノズルで水蒸気の凝縮が発生し、気流は白濁し目視でも十分確認で

きる場合もある。このような凝縮した微小な氷の粒は光を散乱することから、測定部の外部から主流直角に中心波長が 650nm の講演用赤色レーザーポインタ光を放射し、その透過光を浜松ホトニクス社の 970nm に最大感度をもつシリコン系 PIN フォトダイオード S6775 で受光することで、レーザー光の減衰率から凝縮濃度の評価が可能となる。また、大気の高湿度の場合には、超音速スロート近傍で自励的な凝縮衝撃波の発生から変動が生ずることが知られていることから、ダイオード出力の時間変動にも着目した。大気の相対湿度[%]から絶対湿度[g/m<sup>3</sup>]の換算は、文献 1 を参照した。なお、以降絶対湿度と相対湿度をそれぞれ AH と RH と略記することとし、AH3.1 は絶対湿度 3.1[g/m<sup>3</sup>]、RH50 は相対湿度 50%を意味する。

### 3. 評価結果

#### 3.1 静圧変動特性

絶対湿度・相対湿度に対する静圧変動波形を図 2a に、またこれらの波形を周波数分析した結果を図 2b に、図 2c は絶対湿度が最も高いケースにおいて静圧変動とレーザー透過光の周波数分析結果を比較する。絶対湿度が最も低い AH1.9 では、静圧の変動は最も小さく、その実効値は動圧に対して 0.1%以下であり、一般に静粛な超音速流とみなせる。一方最も高い AH8.9 では静圧変動波形に水蒸気の凝縮による自励振動が観察され、図 2c からレーザー透過光との強い相関が確認できる。振動の全振幅は 1kPa 程度で、総圧に対して 1%に相当しているが、動圧に対する実効値は 0.3%以下を確認している。

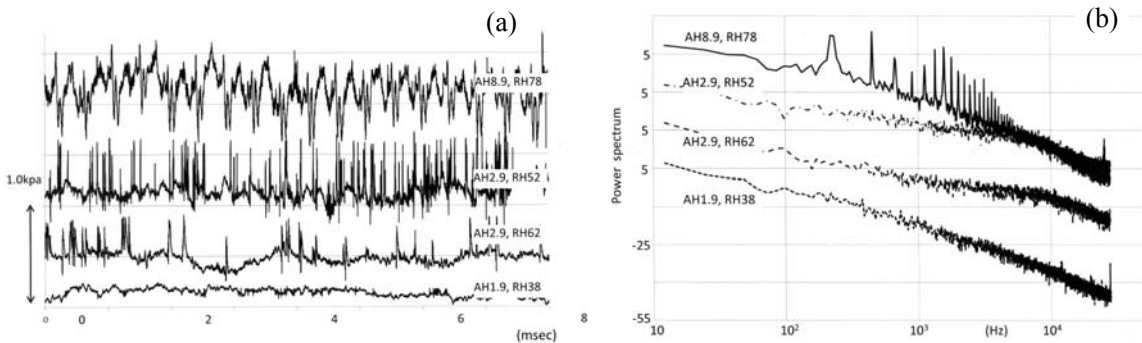
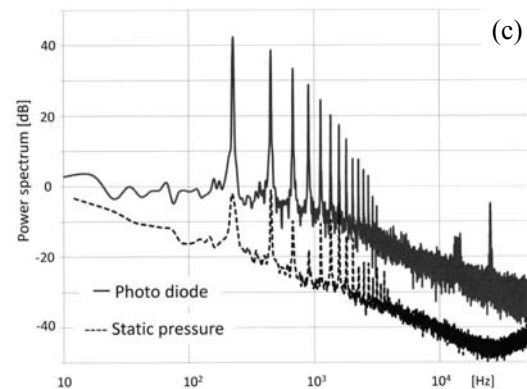


図 2. 絶対湿度・相対湿度に対する静圧変動、(a) 時間変動波形の比較、(b) 時間変動スペクトルの比較、(c) 静圧変動波形とレーザー透過光変動波形のスペクトルの比較



さて、絶対湿度が AH2.9 の 2つの条件では相対湿度が異なり、波形には際立つ凝縮自励は観察されない。しかしいずれの場合も低周波静圧変動にパルス状信号が重畳し、相対湿度が小さい場合の方がむしろ発生頻度は高い。このようなパルス状信号は今回初めて検出されたもので、その発生原因究明については今後の課題である。

### 3.2 境界層の可視化

三次元境界層遷移は外乱に敏感である。気流の変動が小さい場合には、線形安定理論から予測される微小な変動から遷移は開始され、線形増幅成長を経て最終的には乱流へ至る。しかし、変動レベルが大きい場合には、微小変動成長過程とは異なる遷移過程、一般にはバイパス遷移と呼ばれる遷移過程をたどることが知られている。三次元境界層の初期過程では、気流の変動が小さい場合には、模型にほぼ固定された縦渦の成長が観察されるはずである。逆に変動が大きいと、縦渦が観察されないであろう。このような想定の下で三次元境界層が形成される斜め円柱模型の表面をオイルフロー法で可視化した。その結果を図3と図4に示す。図3aはAH2.6条件で取得した可視化画像で、多数の筋状の痕跡が観察され、画像データを周波数分析した縦渦の波長(図3b)やその傾きを線形安定解析結果と比較したところ、境界層の不安定から成長した縦渦であることが同定された。一方、AH6.9の高い湿度条件では、通風初期に弱いながらも筋状の痕跡が観察されるけれども、その後次第に痕跡は弱まり消滅した。この結果から判断すると、境界層はバイパス遷移を経ている可能性が高い。

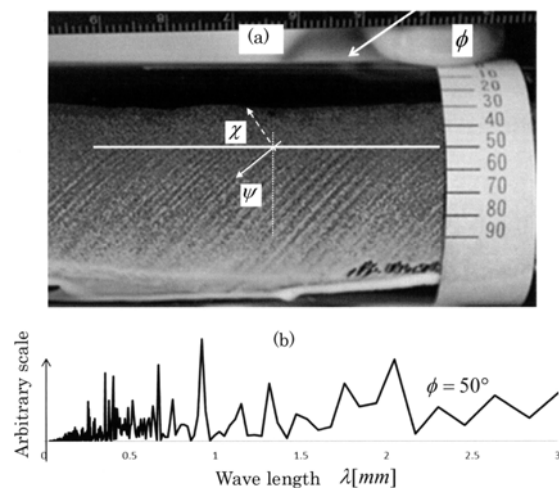
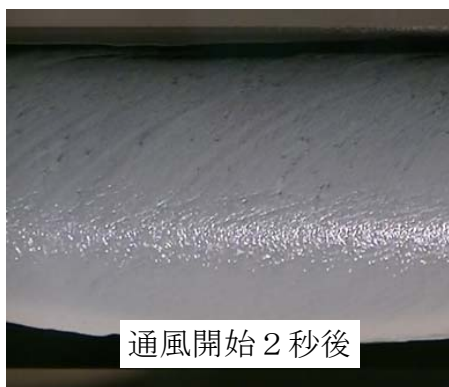
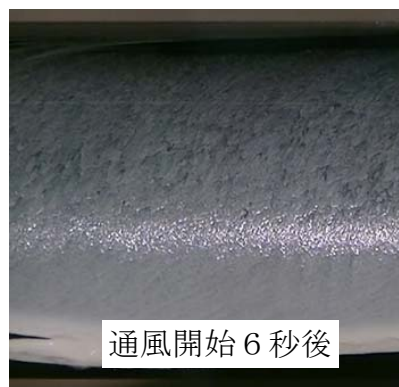


図3 定在型モードの確認、(a)オイルフロー法による可視化、(b)可視化画像の白線に沿う空間スペクトル



通風開始 2 秒後



通風開始 6 秒後

図4 絶対湿度が  $6.9[\text{g}/\text{cm}^3]$ における斜め円柱模型表面に沿う可視化画像

### 4.今後の計画

湿度がある範囲で低周波静圧変動に重畳するパルス状信号の由来を追跡する必要がある。空気中の水蒸気は超音速スロートを通過する際膨張のため凝縮するが、円錐先端に形成される斜め衝撃波を通過する際再度氷の微粒子は微小水滴に相変化するであろう。この相変化は熱の吸収を伴うことから、吸熱反応の結果として静圧の上昇を伴う。この推測を確認するための実験として非定常圧力センサー近傍に高速に応答する温度計を配置し、圧力変動と温度変動の同時計測から裏付けデータを取得する予定である。

#### 参考文献

1. 第一科学、湿度の計算：<http://www.daiichi-kagaku.co.jp/situdo/notes/note108.html>