



## 風洞実験ベースの極超音速機形状最適化は可能か？

鈴木宏二郎

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
先端エネルギー工学専攻

EFD/CFD融合研究会 2008, 2, 26 JAXA調布

### Based upon

東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻

修士論文(Feb. 2008)

松本達矢「ラピッドプロトタイプ装置による極超音速風洞実験

効率化とウェイブライダー形状設計への応用」



1



### はじめに

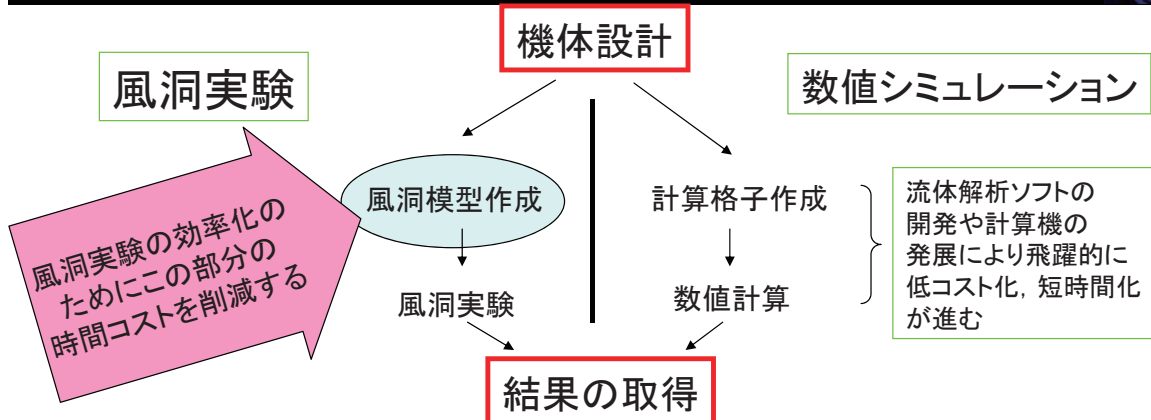
- ・風洞実験とCFDが空力研究における車の両輪であることは自明。
- ・できれば、両方やりたい。同時進行したい。
- ・とは言え、時間の壁がそれをなかなか許さない。
- ・風洞実験とCFDにおける時間感覚のギャップ。

ソフト／ハードの発展によりCFDにおいて、結果を得るまでの  
タイムスケールは「日」や「時間」の感覚

実験的研究では模型の作成に時間とコストを要し、最終的に  
結果を得るまでのタイムスケールは「週」や「月」の感覚。  
“その場でやる”という感覚ではない。



2



風洞実験を高効率化できると...

- ・数値シミュレーションのようなパラメトリックな研究が可能となる
- ・風洞の気流特性やノウハウなどの風洞に関する多様なケースのデータベースの蓄積
- ・実験をサイクルに組み込んだ形状最適化の可能性が現実的になる
- ・数値シミュレーションとの連携が取れた研究が可能となる

風洞実験 = 模型製作 + 風洞実験

1. 風洞実験のデータ生産性が高いこと。
2. 模型製作の高速化(時間の無駄を省く)

近年発展してきたラピッドプロトタイピングを風洞実験の模型作りに適用することで風洞実験の効率化を図ることが可能ではないか？

風洞実験に高い機動性を持たせたい。  
 「朝思いついて、昼それを実行し、夕方に結果を知る」

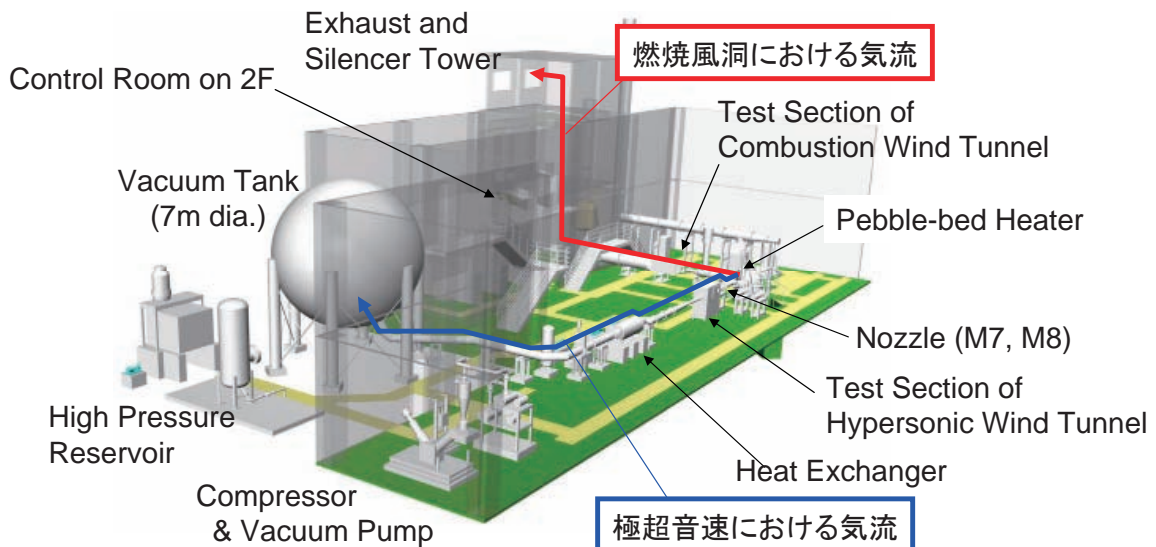
## 東大柏 極超音速風洞における試み

[http://daedalus.k.u-tokyo.ac.jp/wt/wt\\_index.htm](http://daedalus.k.u-tokyo.ac.jp/wt/wt_index.htm)

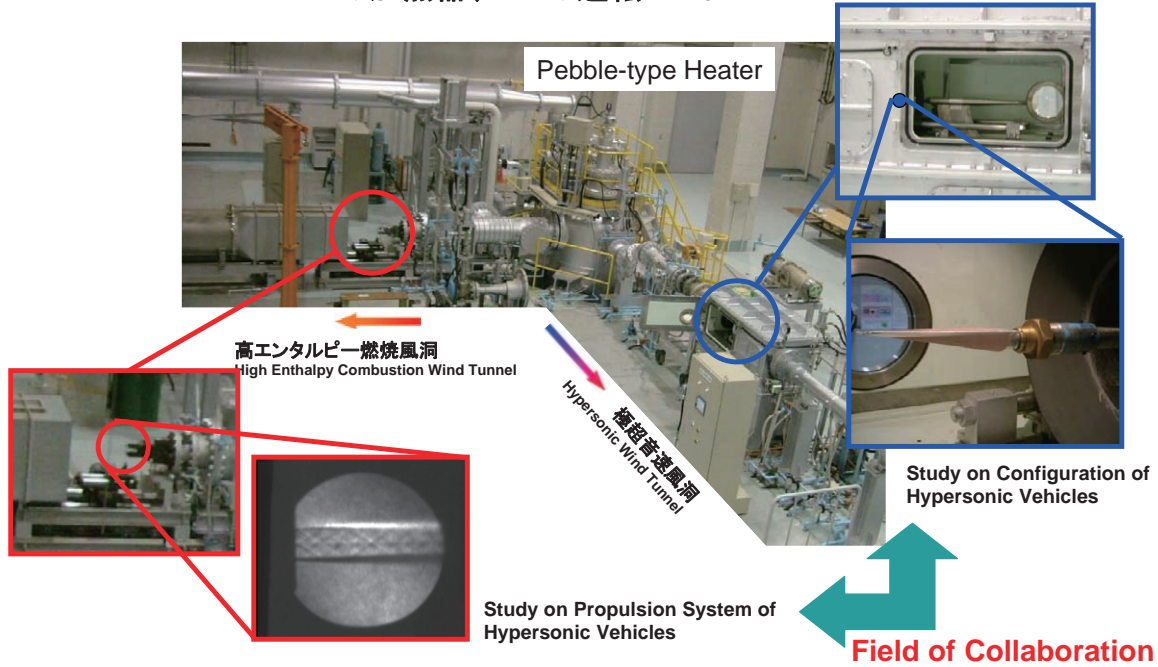


### 東京大学柏キャンパス極超音速高エンタルピー風洞

- 2007年1月に運用開始。
- 1つの加熱器で2つの運転モード(極超音速風洞&燃焼風洞)
- 比較的低いよどみ点圧 (< 1 MPa)

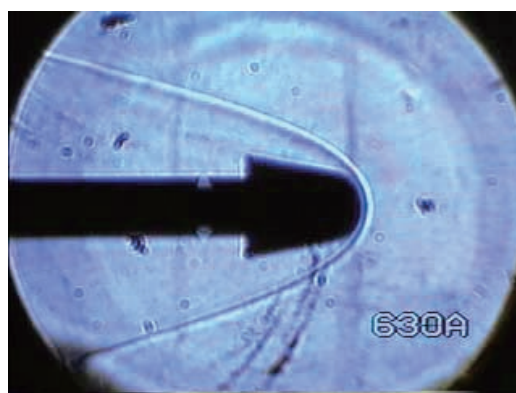


“1つの加熱器、2つの運転モード”



SPECIFICATIONS

	Hypersonic WT	Combustion WT
Mach Number	7, 8	Depend on users
Nozzle Exit	200mm dia. Uniform Flow Core 120 mm dia.	Depend on users
Stagnation Pressure	Max. 0.95 MPa	Max. 0.7 MPa
Stagnation Temperature	Max. 1000 K	Max. 1000 degC
Unit Reynolds No.	1 ~ 2 X10 <sup>4</sup> (1/cm)	—
Mass Flow Rate	Max. 0.39kg/s	Max. 1kg/s
Test Duration	60 sec	100 sec (or more)
Reservoir	5MPa(G), 4m <sup>3</sup> (X1)	
Heater	Pebble Type + City Gas Burner	
Exhaust	Vacuum Tank (7m dia.)	Open to Atmosphere via Silencer



←  
Mach 7 Flow

- ・気流が成立してから模型を投入(射出投入方式)。
- ・変角装置により通風中に姿勢を制御(-10° ~10°)。実験終了後は気流外に退避。
- ・使用できる模型サイズは最大直径で4~5cm。(最大ブロックージ比約5%)
- ・長時間の運転が可能(最大60秒)
- ・比較的短い準備時間(電源から3時間程度で通風運転開始可能)
- ・高い運転頻度(1時間に1回可能) → **パラメトリックスタディ、コンセプト検証**
- ・P0が低い→加熱が緩やか→模型の材料に対する制約が緩やか

1. 風洞実験のデータ生産性が高いこと。  
→東大柏風洞はこの条件をクリアできそう。
2. **模型製作の高速化(時間の無駄を省く)**

“その場”で模型が作れないか。。。

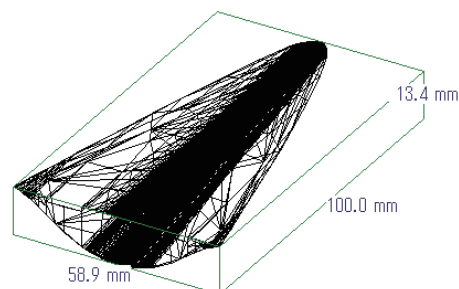
設計した形状データを3DCADデータで作成



CADデータをCAMデータに変換し、ラピッドプロトタイプ装置に出力

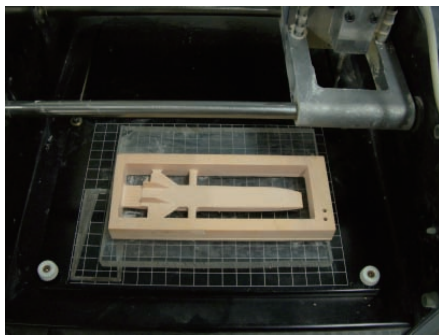


風洞模型の切削

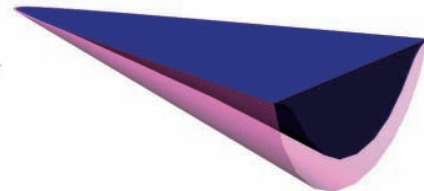
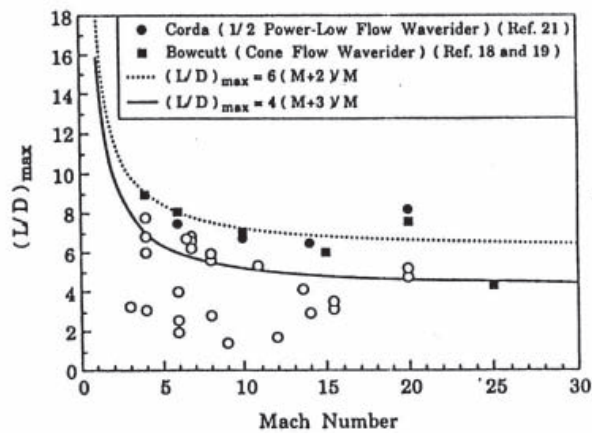


ラピッドプロトタイプ装置による模型製作

- ・模型は簡易模型作成機 (Modela MDX-20<sup>©</sup>:Roland社) を使用
- ・材料にはケミカルウッドを使用 (またはアルミ)
  - \* 熱変形温度は約82度
- ・完成後、若干の手作業が必要
  - \* 前縁の仕上げ、耐熱対策
- ・超低コスト



例) 高L/D極超音速機形状を求めて  
前縁RとL/Dの両立(妥協)



制約条件

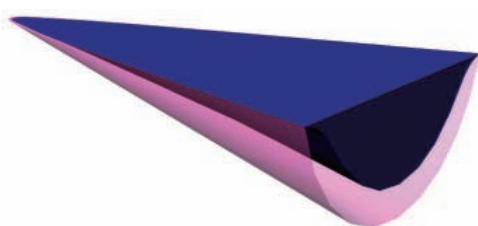
- ・上面がFlatなTop Conical Waveriderを作成する
- ・積載荷重を考慮して機体後部に一定量の体積を有する形状のみ許可

検討条件

マッハ数	7
Re数	$1.1 \times 10^5$
機体長	4.5[m]

設計結果

仮想円錐半頂角 $\theta$ [deg]	12.39
発生衝撃波角 $\beta$ [deg]	15.77
理論揚抗比 (L/D)	<b>7.19</b>



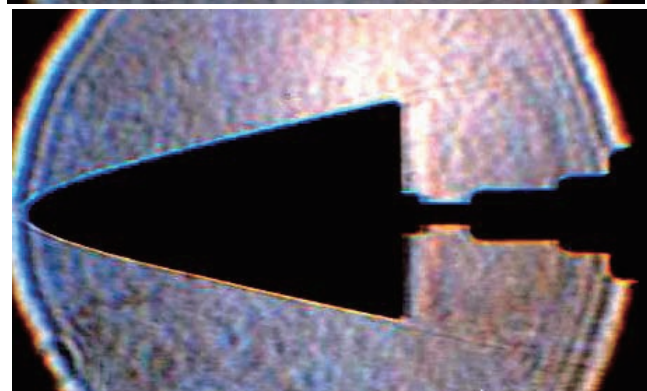
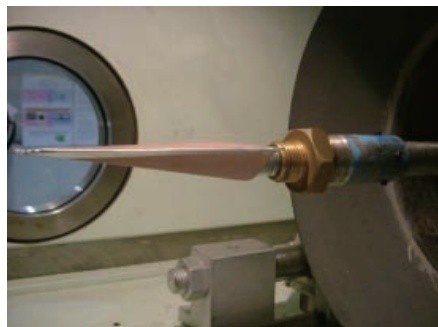
Top Flat Conical-derived Waverider



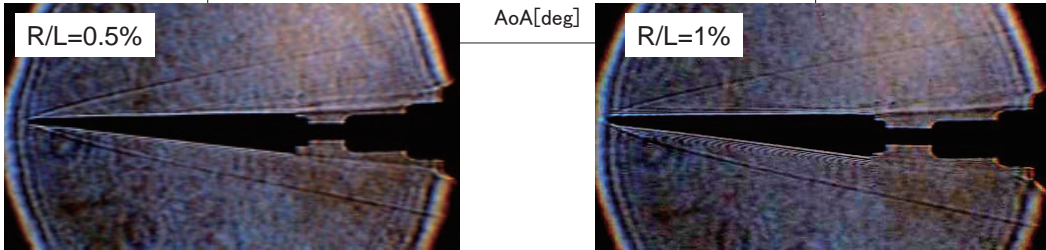
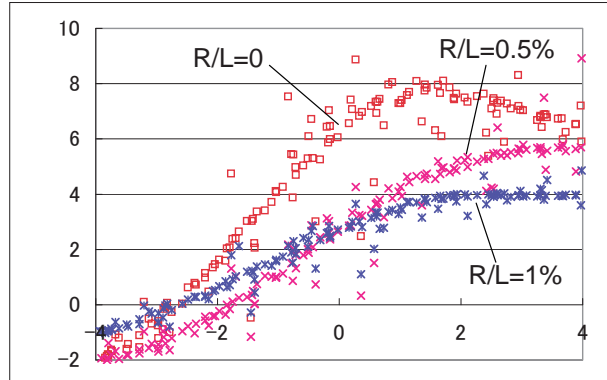
この結果を用いて簡易模型作成機で風洞実験用模型を作成

そして  
極超音速風洞実験へ

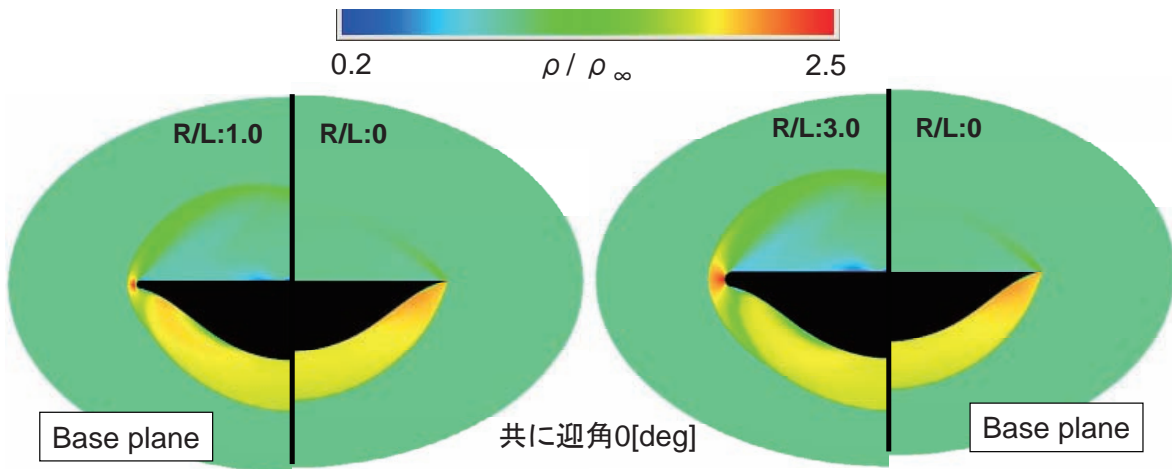
M=7.0~7.01  
P0=0.95MPa  
T0=540~575K



■前縁部RによるL/D性能の劣化



前縁部厚み効果:CFDの援用(断面図)



NS解析、格子点数91×111×81



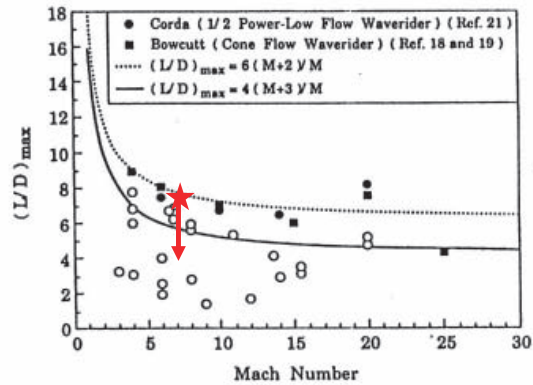
■ 前縁RとL/D

風洞実験:

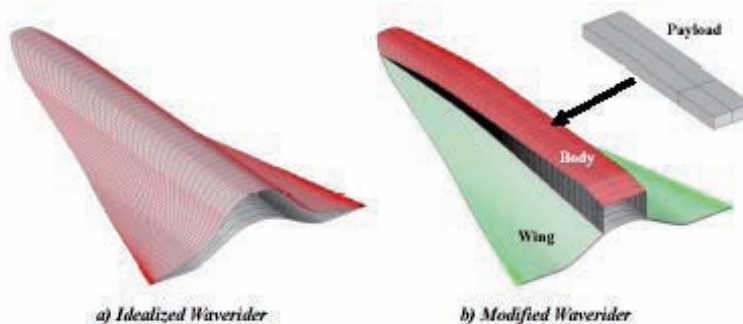
わずかなRが大きな性能劣化を生むことを身をもって知る。

機体の安全上、Rは絶対必要。

Rで失ったL/Dを取り返す方法はないものか。。。。。



平面(ディスプレイ)で考えるか、立体(模型)で考えるか、どちらがいいかは好みの問題かも知れない。



まとめにかえて

- ・EFD(風洞)/CFD融合研究は時間感覚をそろえることから。同時スタート、同時終了が望ましい。
- ・ラピッドプロトタイピングによる風洞実験トータル時間の削減。

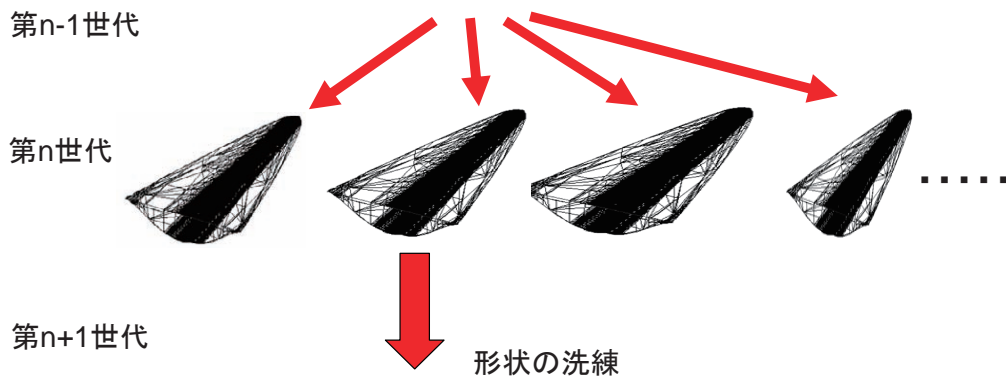
風洞		CFD	
形状設計	1時間	形状設計	1時間
模型製作*	4時間	格子作成	5~10時間
実験準備	2時間	計算	10~20時間**
実験&QL	1時間	QL&後処理	~
合計	8時間	合計	15~30時間

\*片面加工のみの形状の場合

\*\*Mac Pro 2X3GHz Quad-Core Xeon 4GB, 2コア使用

模型製作1時間+実験1時間に短縮できれば。。。。

1形状2時間→1日数形状をトライ



風洞実験をソルバーにした機体形状最適化が可能になるかも知れない。。。。