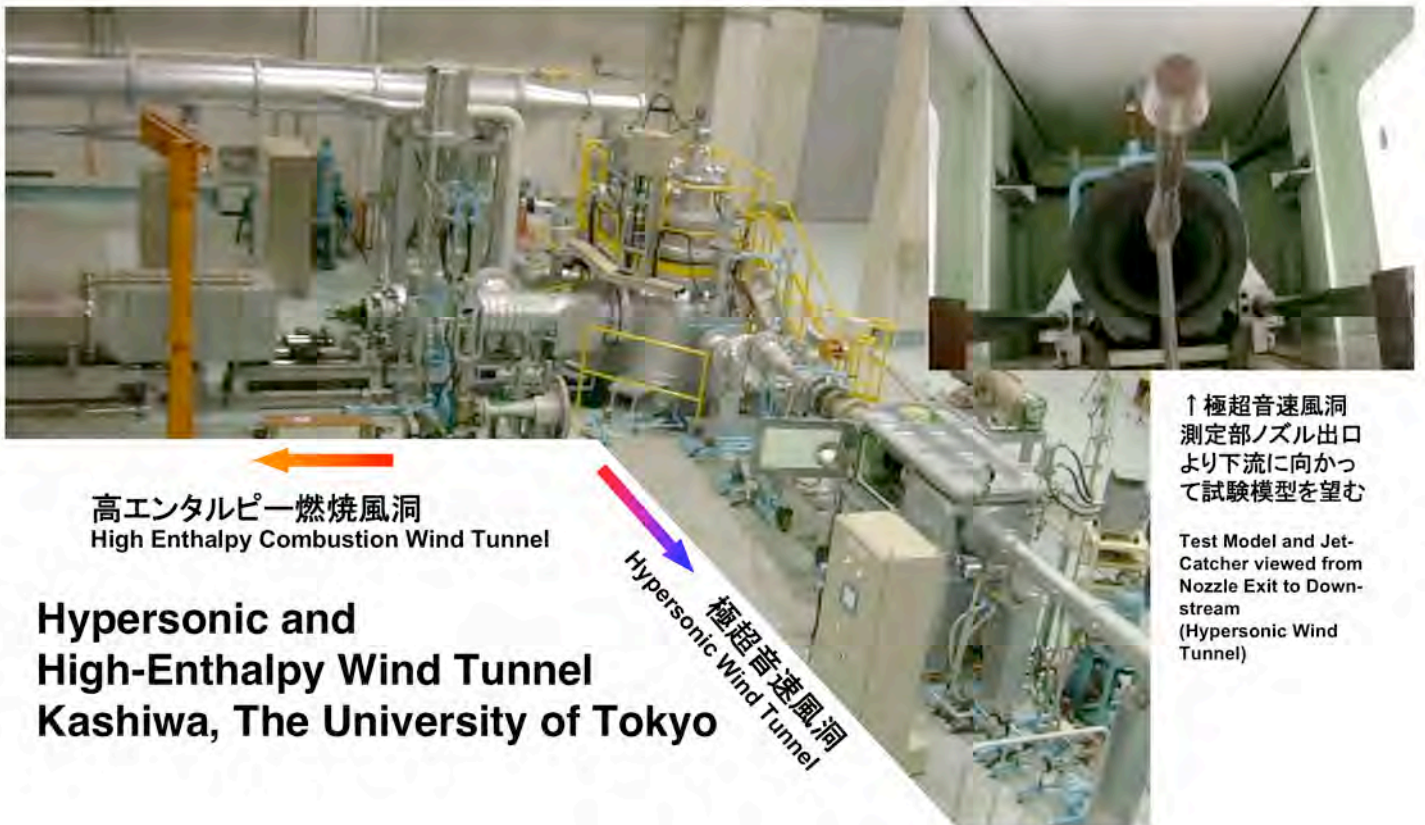




# 東京大学柏キャンパス 極超音速高エンタルピー風洞



高エンタルピー燃焼風洞  
High Enthalpy Combustion Wind Tunnel

**Hypersonic and  
High-Enthalpy Wind Tunnel  
Kashiwa, The University of Tokyo**

極超音速風洞  
Hypersonic Wind Tunnel

↑極超音速風洞  
測定部ノズル出口  
より下流に向かって  
試験模型を望む

Test Model and Jet-  
Catcher viewed from  
Nozzle Exit to Down-  
stream  
(Hypersonic Wind  
Tunnel)

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

極超 柏 で検索

東京大学柏キャンパスに、マッハ7~8の極超音速(最高速度毎秒約1.2km)と高エンタルピー(最高温度約1000°C)の風洞が設置されました。柏の地から、超高速・超高温流体の理学工学に様々な角度からチャレンジする、新しい教育研究が始まります。所属・分野を問わず広範囲での“学融合”の場となることを目指します。

## ◆本風洞の性能と特徴

本風洞の前身は、旧東京大学航空研究所(現、JAXA 宇宙科学研究本部)で1960年初頭より東大駒場IIキャンパスに建設された超音速気流総合実験室および高温気流燃焼実験室です。極超音速流(超高速流れ)および高エンタルピー流(超高温流れ)に関する教育研究を拡充するため、東京大学柏キャンパス大学院新領域創成科学研究科へ移設され、2006年3月に基盤科学実験棟における新たな大型実験設備として完成しました。

本風洞は、ペブル式(石焼釜方式)の空気加熱器を持ち、超高速気流実験用の極超音速風洞と超高温気流実験用の燃焼風洞の両方の運転ができる1加熱器2運転モードを採用しています。最大圧力は1MPa未満と比較的低く、大学設備としての安全性と低コスト性、高運転頻度(1時間に1回の実験が可能)を実現しています。

本風洞は、大学に設置され、学生の教育研究が目的の極超音速高エンタルピー風洞としては、世界にも類のない高性能を有します。燃焼風洞モードにおいて、気流は高温、非プラズマ、空気使用といった特徴を持ち、高速エンジン内の流れのみならず、高温材料の研究などの利用が期待されます。極超音速風洞モードにおいて、測定部気流は高マッハ数を出す同種の風洞に比較して気流の圧力が低いという特徴があります。このことは、高高度を超高速で飛行するさまざまな物体(宇宙飛行体や隕石など)まわり流れの理学工学に関する教育研究に新たな可能性を開きます。また、本設備は大学における大型プラントシステムに関する貴重な教育の場も提供します。

項目	極超音速風洞	燃焼風洞
マッハ数 M	7.8	ユーザーによる
ノズル出口	200mm φ	ユーザーによる
P0	0.95MPa	0.7MPa
T0	最高 約 1000K	最高 約 1300K
単位レイノルズ数	1~2×10 <sup>4</sup> (1/cm)	—
粘性干渉パラメータ	0.01~0.02(M/√Re <sub>0</sub> )	—
流量	最大 0.39kg/s	最大 1kg/s
通風時間	60秒	100秒
模型	射出投入 or 常時投入	ユーザーによる
貯気圧	最大 4.2MPa(G)	
貯気槽容量	4 m <sup>3</sup> ×1	
蓄熱体	アルミナペブル	
加熱方式	都市ガスバーナー	
排気	真空槽 約 180 m <sup>3</sup> (φ7m 球形タンク)	大気開放(消音排気塔を経由)

表：東京大学柏極超音速高エンタルピー風洞の性能諸元

## ◆極超音速風洞の実験例

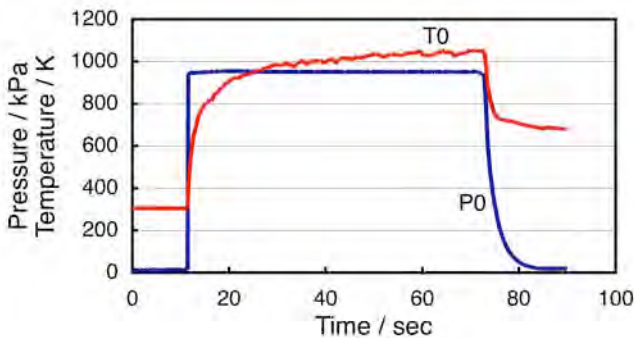


図1 気流よどみ点圧力(P0)とよどみ点温度(T0)の履歴(時刻12秒で気流の遮断弁が開き、風洞がスタートします。スタートしてから20秒程度でよどみ点温度が安定します。)

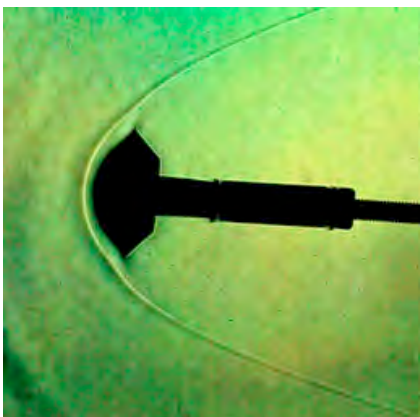


図2 はやぶさ帰還カプセルまわりの衝撃波流れ(マッハ数7、シュリーレン写真)

(新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻 鈴木研究室提供)

## ◆高エンタルピー燃焼風洞の実験例

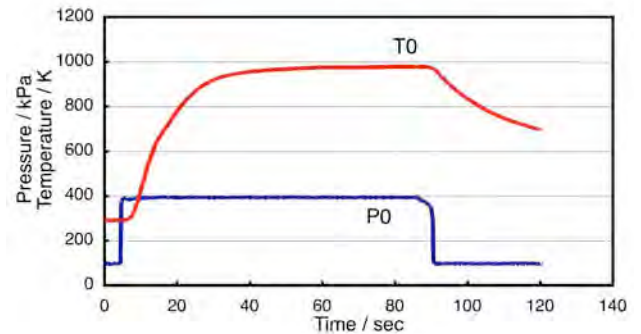


図3 気流よどみ点圧力(P0)とよどみ点温度(T0)の履歴(時刻5秒で気流の遮断弁が開き、風洞がスタートしています。)



図4 超高速航空機やスペースプレーン用として期待されるスクラムジェットエンジンのアフターバーナー燃焼実験

(工学系研究科航空宇宙工学専攻 津江・中谷研究室提供)

★柏風洞ホームページ(極超 柏)で検索)には、本設備を使ってこれまでに得られた様々な研究成果の概要が掲載されています。是非ご覧下さい。

## 【問合せ先】

東京大学柏風洞ワーキンググループ

〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

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 鈴木研究室 気付

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



2007.1 作成(2016.8 改)  
東大柏風洞 WG



① 風洞制御室

風洞および付属機器は、全て制御室から遠隔で運転することができます。運転中のよみ点圧力、温度、模型姿勢角などの各種パラメータは、ここからユーザーが設定します。風洞の運転状況は常時、中央監視盤で表示され、データとしてユーザーに提供されます。



# 東京大学 極超音速高エンタルピー風洞 鳥瞰図

## UT Kashiwa Hypersonic and High-Enthalpy Wind Tunnel

ひとつの高温高圧空気発生装置で、極超音速風洞（超高速流れ）と燃焼風洞（超高温流れ）の2モード運転をすることができます。

② 高圧貯気槽 および ③ 真空槽

ともに屋外に設置されています。高圧貯気槽（写真右、円筒状のタンク）は、⑧空気圧縮機により製造された高圧（5MPa）の乾燥空気を4m蓄えます。この空気は調整弁で必要な圧力に調整された後、④ペブル式空気加熱器に送られ、高温高圧空気として実験に使用されます。最大実験時間は極超音速風洞で60秒、燃焼風洞で100秒です。真空槽（写真左、大きな球形タンク）は、直径7mで容積は約180m<sup>3</sup>です。あらかじめ④排気装置により100Pa以下に減圧され、極超音速風洞で使用した空気を一旦ここに捨てた後、大気に開放します。



④ 空気圧縮機 & 排気装置

高圧貯気槽の加圧と、真空槽の減圧に使用されます。騒音、振動の影響を減らすため、実験室内の小部屋の中に設置されています。



空気圧縮機

空気排気装置  
(真空ポンプ)

④ ペブル式空気加熱器

あらかじめ焼いておいた小石の間に空気を通すことで高温空気を得るペブル加熱方式を採用しています。容器は半分床下に埋め込まれており、その内壁は耐熱レンガで覆われており、その中にアルミナペブル(小石)が充填されています。上面に設置されたガスバーナーでペブルをあらかじめ加熱した後、②高圧貯気槽から来た空気を下部から上部に通すことで熱交換が行われ、最高1500℃の高温空気を得ることができます。この高温空気は燃焼風洞だけではなく、極超音速風洞で空気を加速するためのエネルギー源として必要なものです。



ペブルを充填する前の加熱器内部の様子  
(側面に耐熱レンガが、底にペブルを支えるための金網が見えます)



加熱器内部に充填されたアルミナペブル

ペブルの大きさ

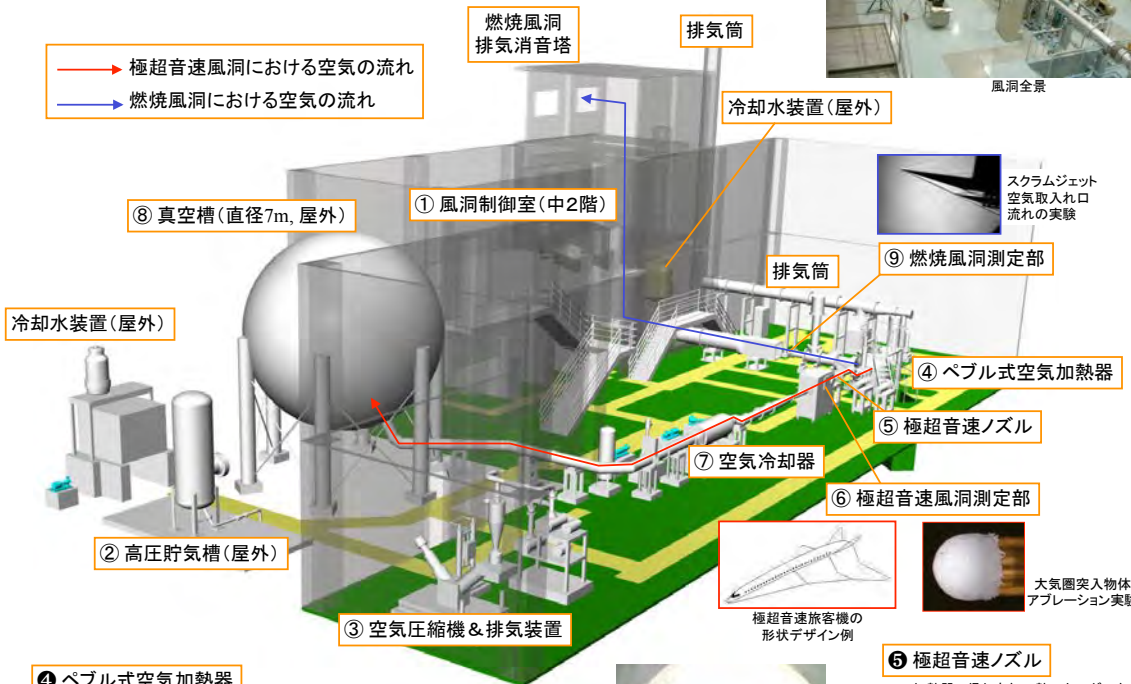
⑤ 極超音速ノズル

加熱器で得た空気の熱エネルギーを運動エネルギーに変換します。入り口が狭く、出口が広いので、ここを通る空気は加速されます。加速の程度は、入り口と出口の面積比で決まりますが、極超音速風洞用のノズルでは、入り口(スロート)面積はたいへん狭くなっています。出口直径は200mmです。ノズルの内側形状は測定部で一定な空気の流れを得るために滑らかなベル型をしています。ノズルは交換式でマッハ数7, 8の流れを得ることができます。

極超音速風洞測定部  
(気流は右から左へ、中央の円が観測窓、右側にノズルセクションが見える。)



極超音速ノズル内の流れのコンピュータシミュレーション結果例(入り口は左側、出口は右側)。マッハ数の等高線(図の上半分)が粗くなっていることから、ノズル出口で一定な流れが得られているのがわかります。図の下半分は、速度ベクトル図です。出口で真っすぐな気流になっています。また、ノズルの壁面近傍では、空気が徐々に加速していく領域(境界層と言います)がノズル出口に向かって発達しているのがわかります。



→ 極超音速風洞における空気の流れ  
→ 燃焼風洞における空気の流れ

⑥ 燃焼風洞測定部

加熱器からの高温空気をジェットとして大気に噴射します。気流は消音塔を通過して屋外に排気されます。噴射ノズルや開放型測定部レイアウトはユーザーが実験内容に応じて、セットすることができます。



⑦ 空気冷却器

極超音速風洞で使用した空気を排気する前に冷却するための水冷の熱交換器です。



⑥ 極超音速風洞測定部

模型を置いて、そのまわりの極超音速流れを観察したり計測したりする所です。実験中は低圧となるため、外部と遮断された容器になっています。測定部には観察用の窓(直径200mm、写真中央付近)があり、シユリーン写真などに使うことができます。模型は射出装置により、気流が安定してから測定部に投入されます。気流に対する角度(ピッチ角)は風洞運転中に-10度から+10度の範囲で自由に変えることができます。これらは、①風洞制御室から遠隔操作することができます。本風洞では断面直径が4cm程度までの模型を入れることができます。



模型取付装置  
(実際にはカバーがつきます)

Mach Number Contours

Velocity Vectors