

第28回Grain Formation Workshop
平成22年度銀河のダスト研究会

東京大学柏極超音速 高エンタルピー風洞の紹介と 風洞を用いた氷天体大気圏突入の模擬実験



*Department of Aeronautics and Astronautics
Graduate School of Engineering*



*Division of Transdisciplinary Sciences
Graduate School of Frontier Sciences*

今村 宰 (東京大 工学系)
鈴木宏二郎 (東京大 新領域)



THE UNIVERSITY OF TOKYO



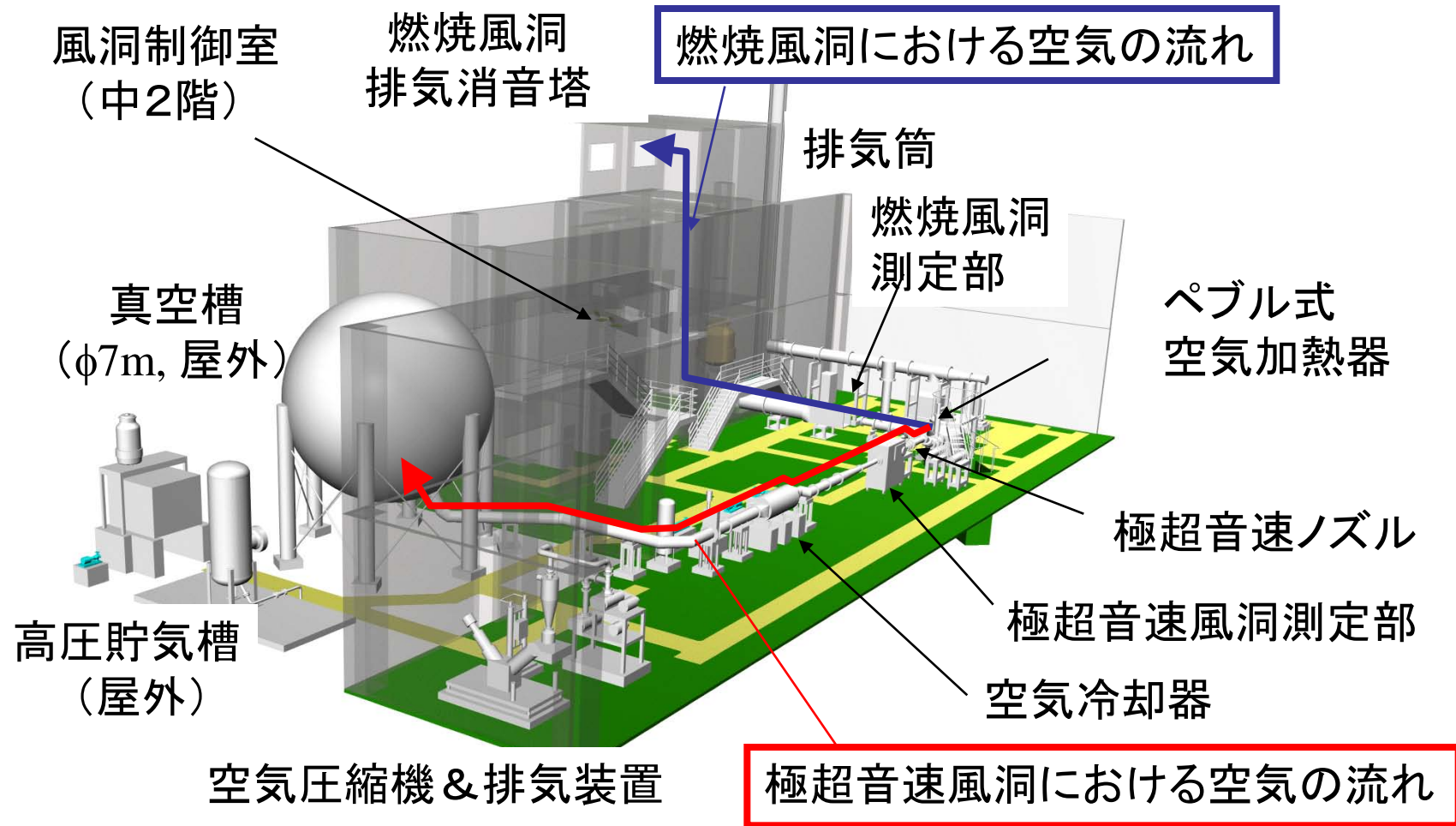
Agenda

- 東京大学 柏キャンパス 極超音速高エンタルピー風洞の紹介
 - 高速な流れ(M7, 60s)を再現する実験設備の紹介
- 極超音速風洞を用いた氷天体大気圏突入の模擬試験
 - 航空宇宙工学における研究ツールの利用





風洞概観図





本風洞の沿革

- 1960年代初頭：旧東京大学航空研究所(現JAXA宇宙科学研究本部)によって、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 / 高温気流燃焼実験室が本設備の前身にあたる.
- 1989年：東京大学工学部に移管.
- 極超音速飛行体の教育および研究活動の更なる拡充のため、柏キャンパス(新領域創成科学研究科)に2006年移転.





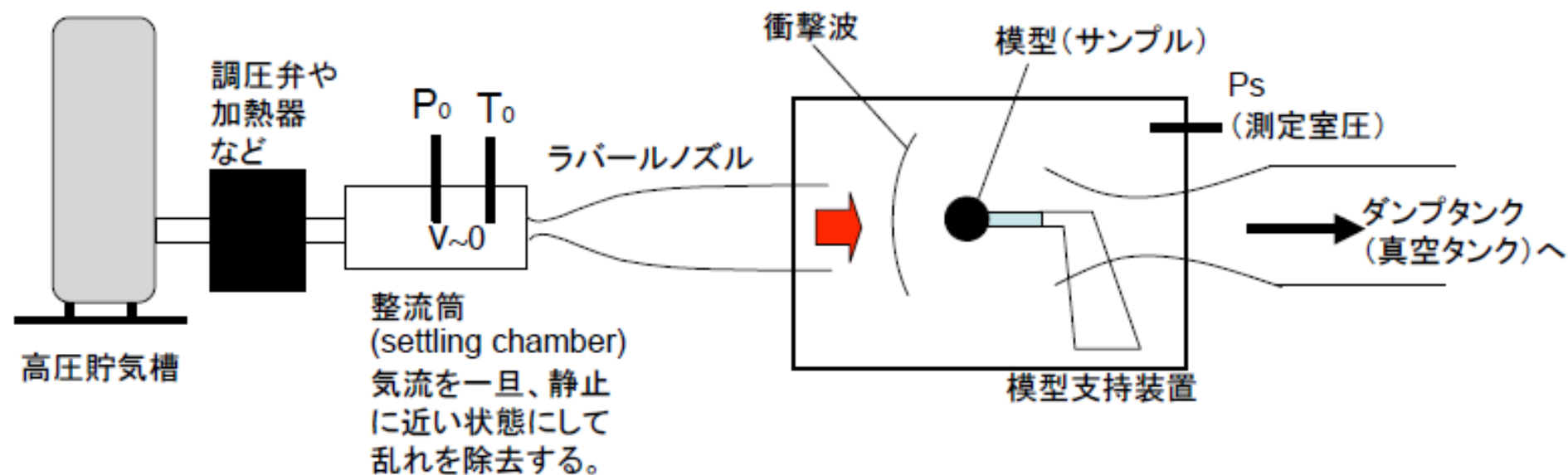
本設備の理念

本設備は大学が有する研究設備であることから、

- 特に極超音速の気体力学のフロンティアの研究活動
- 風洞実験等により極超音速を“体感”した経験をもつ人材を育成
- 航空宇宙工学の研究者・技術者に、より広く極超音速飛行に関する実験の場を提供



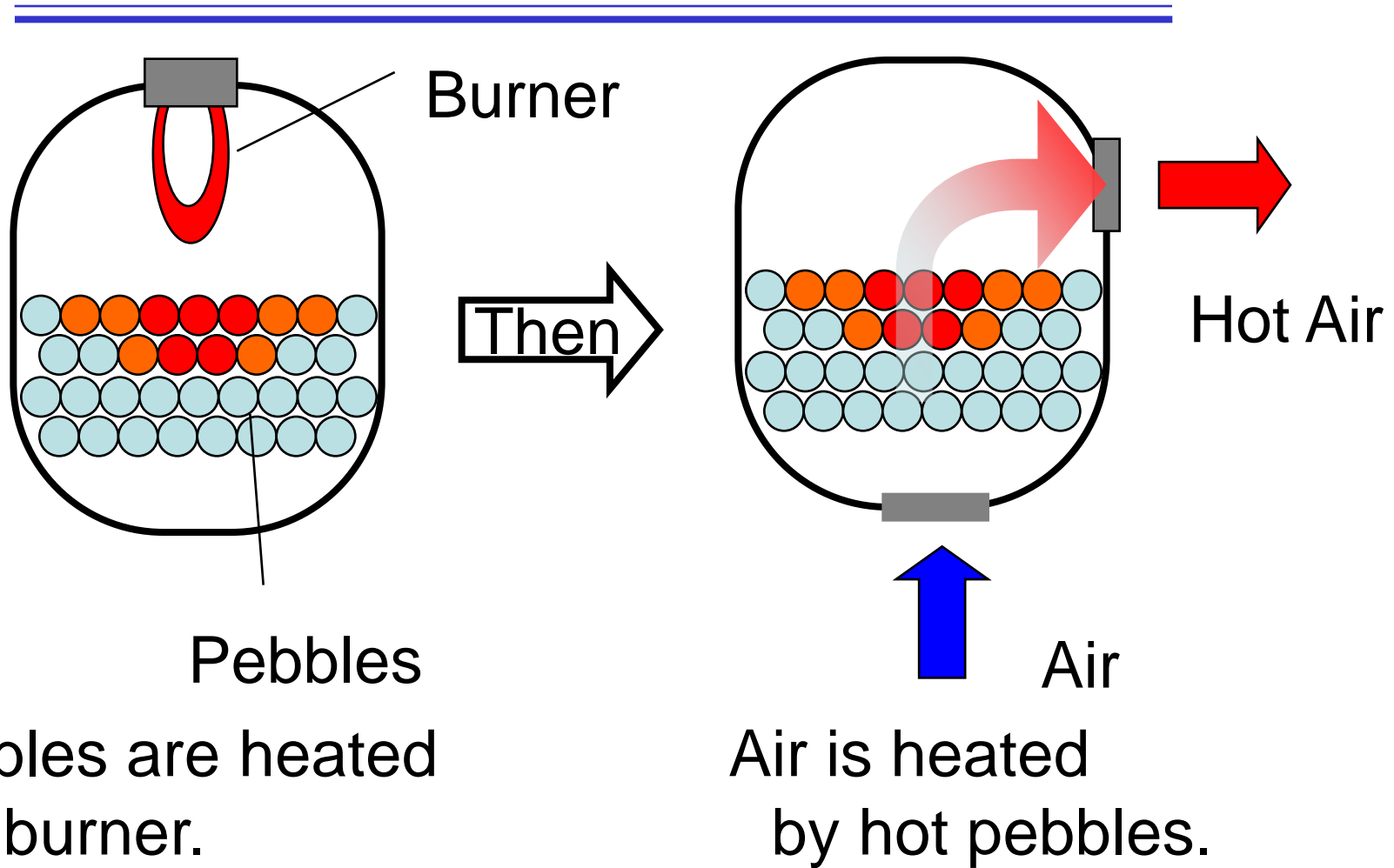
風洞の作動原理



$$C_p T_0 = C_p T + \rho u^2 / 2$$



加熱器





UT-Kashiwa Wind Tunnel

Test-section Pebble-bedded Heater Mach 7, $\Phi 200\text{mm}$

Gate Valve

Heater

*Hypersonic wind tunnel section
Including vacuum chamber*

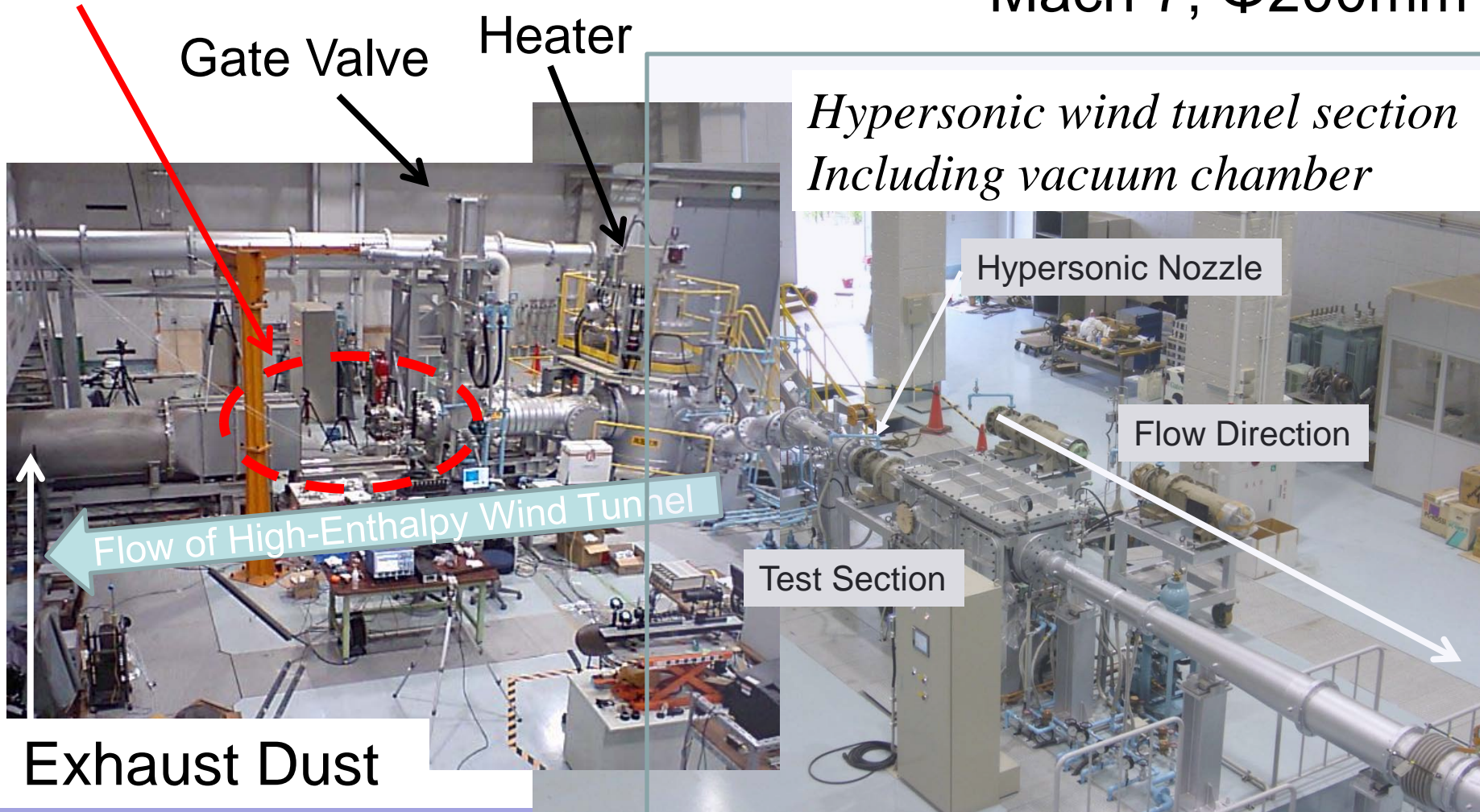
Hypersonic Nozzle

Flow Direction

Flow of High-Enthalpy Wind Tunnel

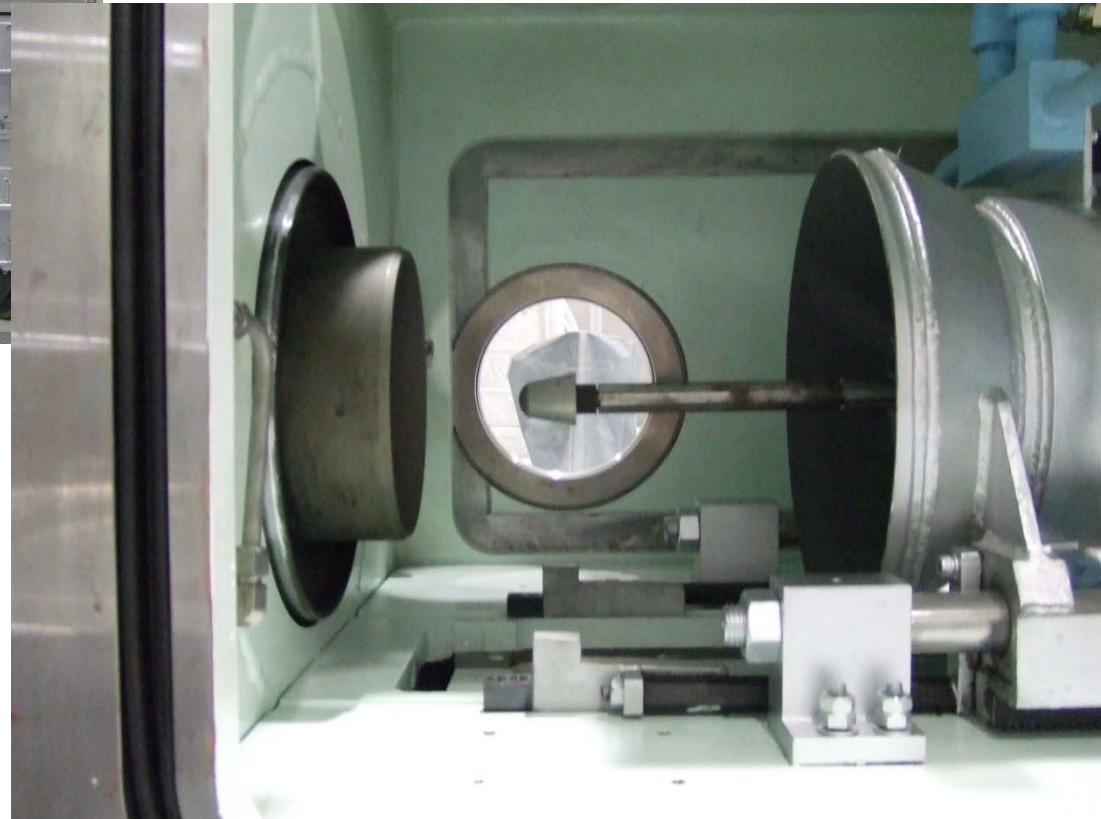
Test Section

Exhaust Dust





Measurement Room





風洞諸元

項目	極超音速風洞	燃焼風洞
設計マッハ数	7, 8	1.8 *
ノズル出口	200mm ϕ	40mm \times 26mm *
淀み点圧力 P_0	最大1MPa	最大 0.7MPa
淀み点温度 T_0	$\sim 800^\circ\text{C}$	最大1000 $^\circ\text{C}$
流量	最大 0.39kg/s	最大 1kg/s
通風時間	60 sec	100 sec
貯気槽	設計圧 5MPa(G), 容積 4m ³ ($\times 1$)	
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(7m ϕ 球形タンク)	大気開放(排気消音塔を經由)

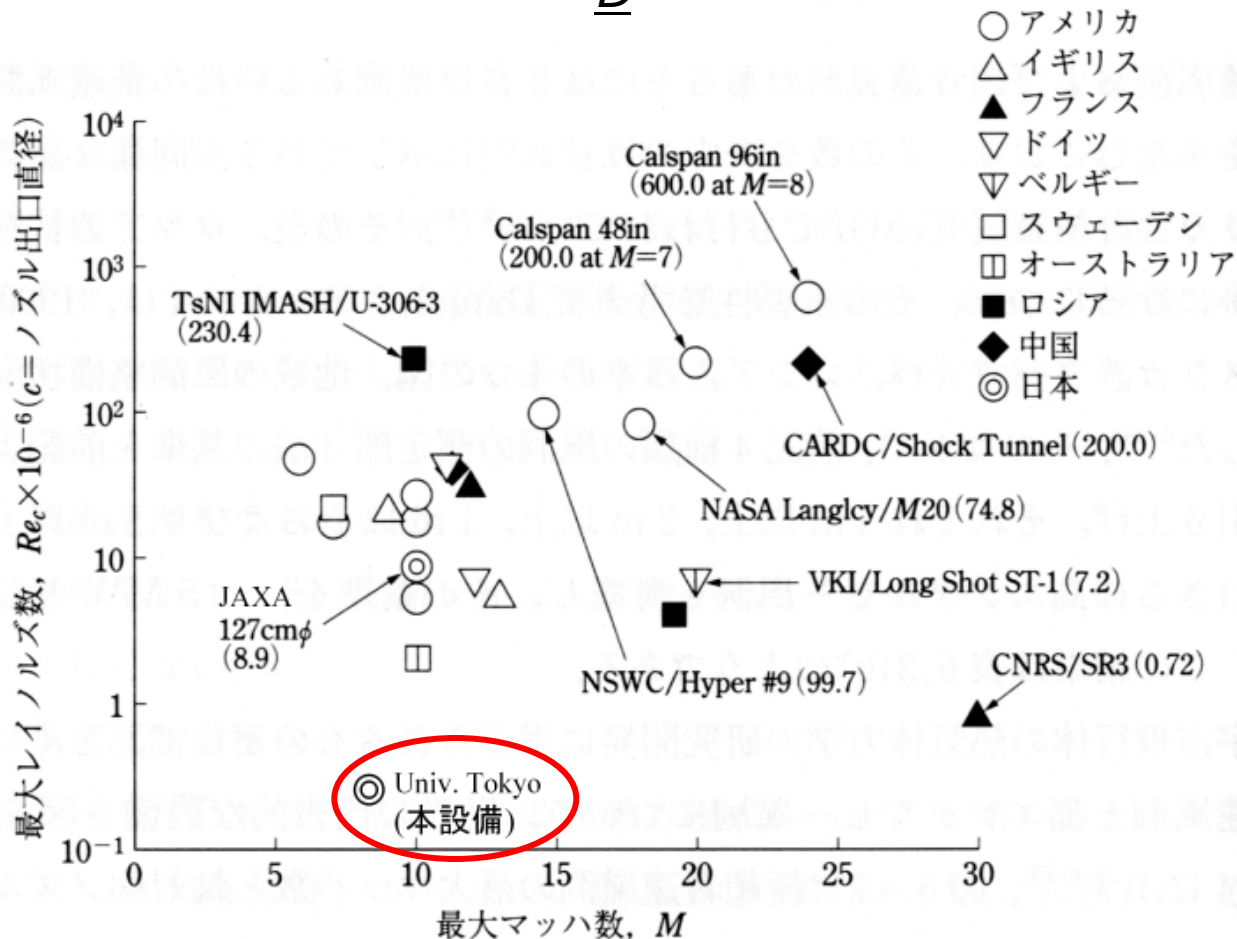
燃焼風洞はノズルも含めてユーザーに任されている。





世界の極超音速風洞との比較

最大レイノルズ数 Re_D $1.8 \sim 4.7 \times 10^5$





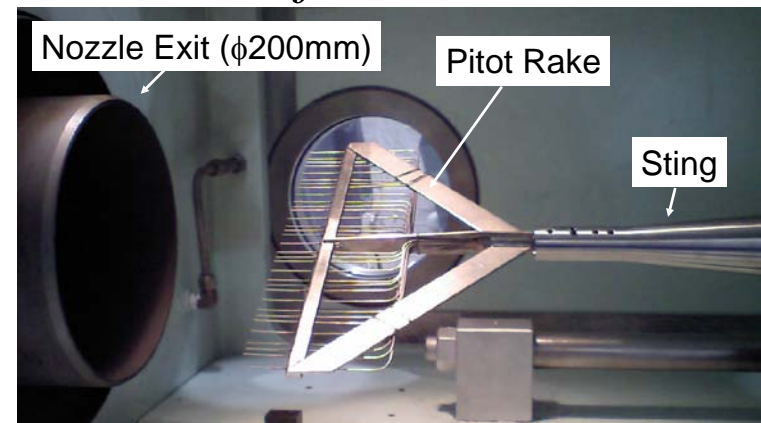
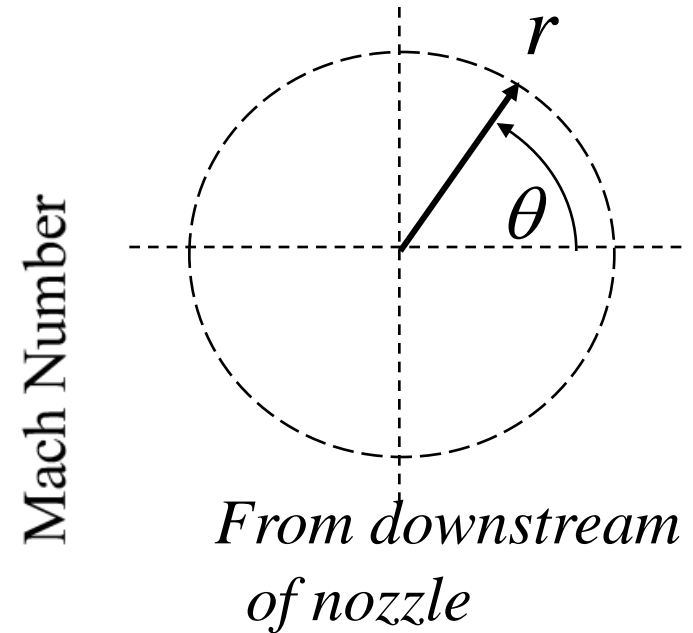
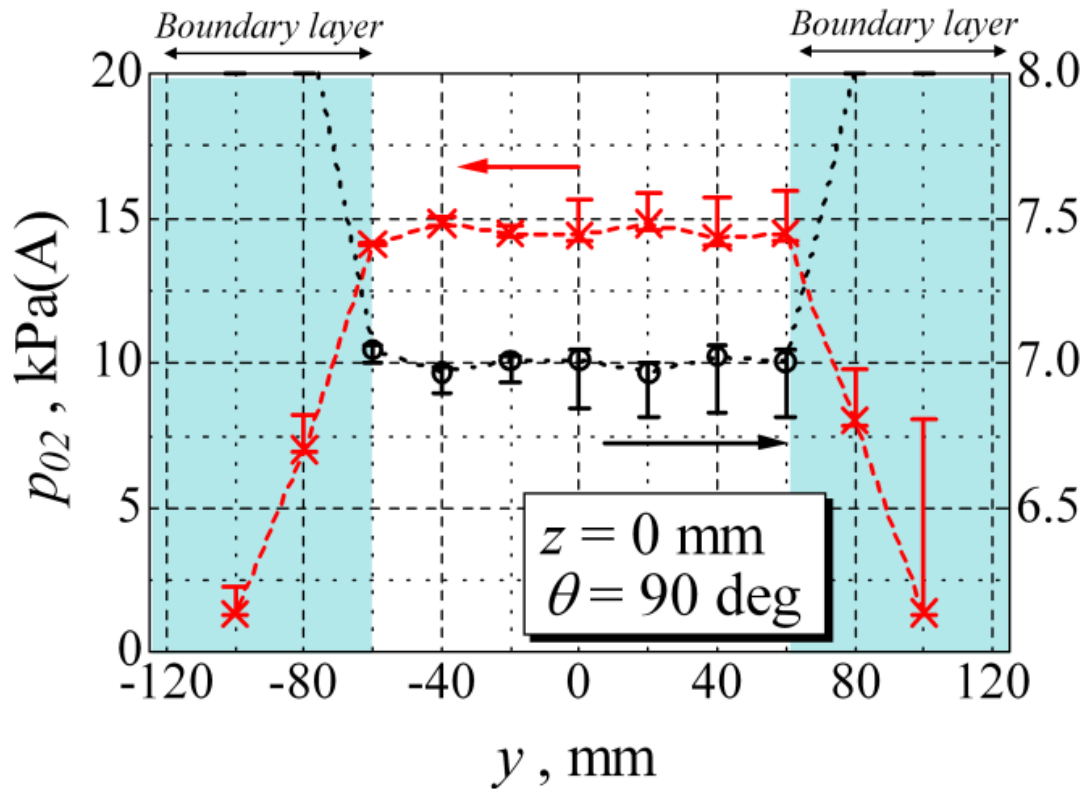
風洞の特徴

- 短い通風実験のインターバル (1 blow/hour)
- 安価な運用コスト
- 極超音速を「体感」した人材育成

- JAXAなどのプロジェクトに用いられるような大型設備に対して、「アイデア」を試す機会を提供.
- 航空宇宙工学の専門家以外の方の参画も大歓迎.

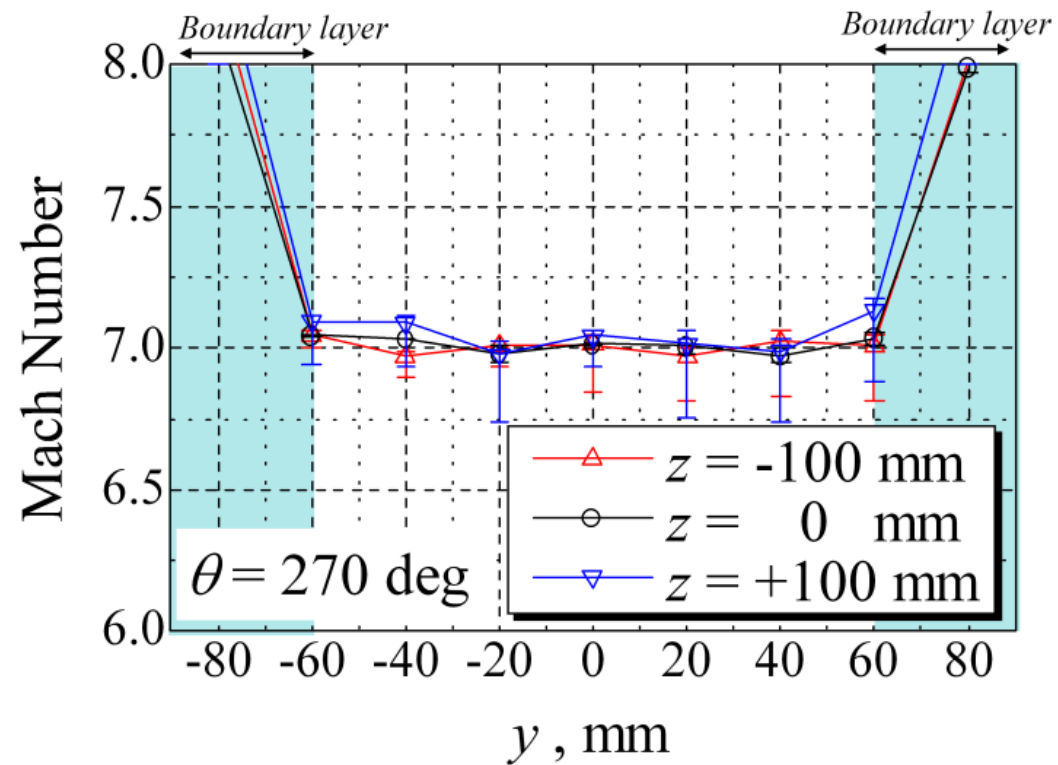
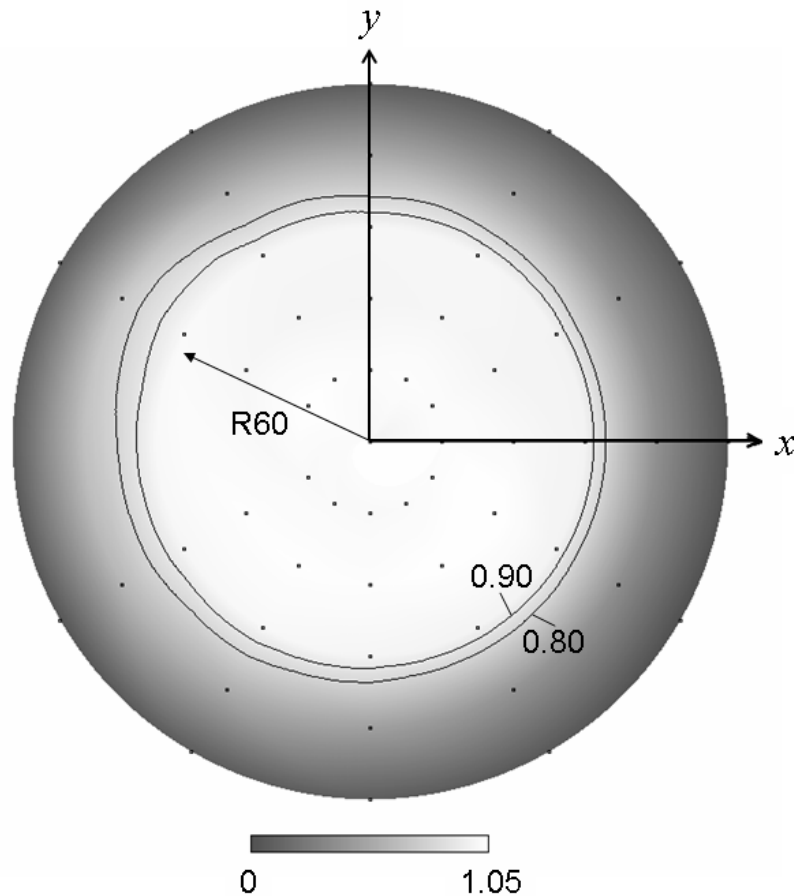


Core of flow



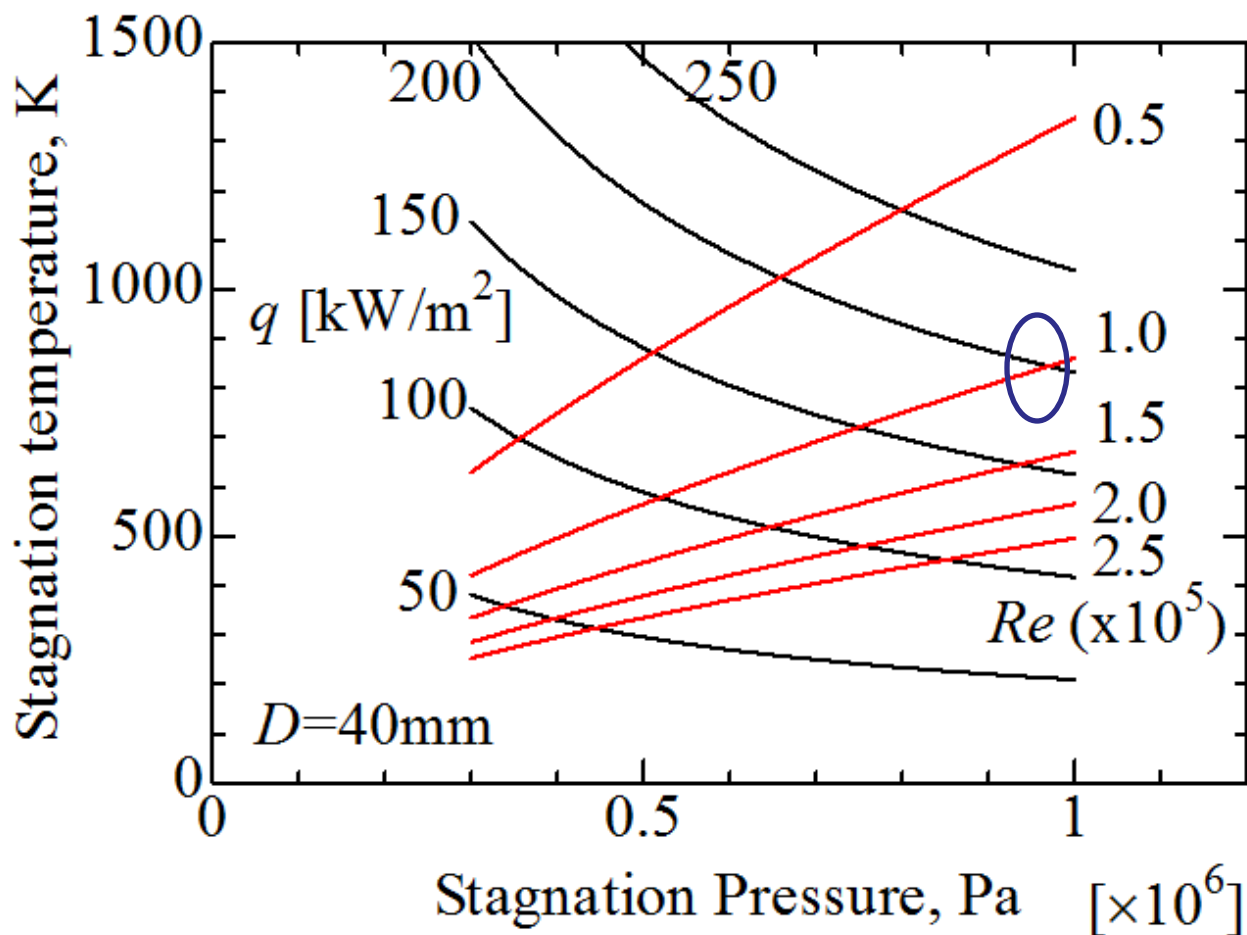


Uniformity of flow





Reynolds Number vs. stagnation heat flux





研究の動機

天体の大気圏突入には..

大気の形成

生命前駆物質の材料/エネルギーの供給源

生命の惑星間移動 など

突入の軌道は？ アブレーションや分裂の効果は？
天体周りの高温高速の流れは？

惑星科学における極超音速熱空気力学 に
航空宇宙工学における研究ツール(風洞, CFD,
etc.)が利用できるのはいないか？





Background

- Ablation – engineering
 - a simple Thermal Protection System, and good reliability against aerodynamic heating during the reentry to the atmosphere
 - phenomenon itself contains the melting, phase-change and it is very complex.
- Ablation – astrology
 - observed on the astrological object such as meteorite (tektite, etc...)
 - It is recently said that reentry of astrological objects is has a important role of origin of life, because it can provide high temperature condition to form the organic matter.

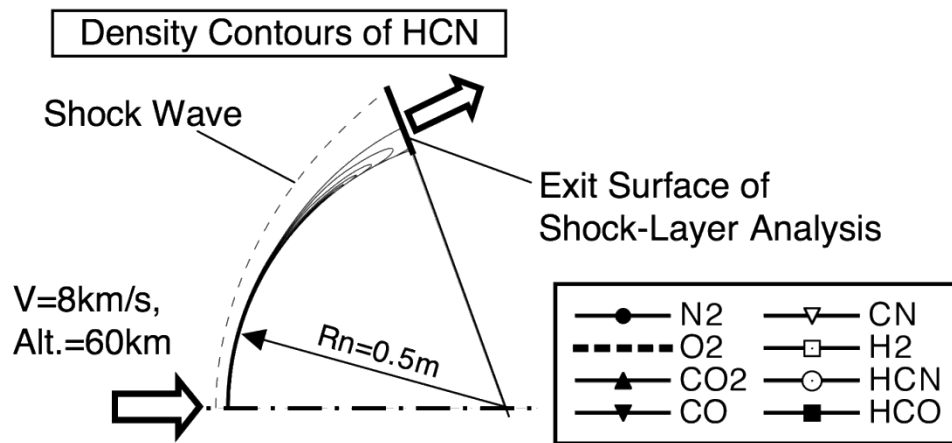
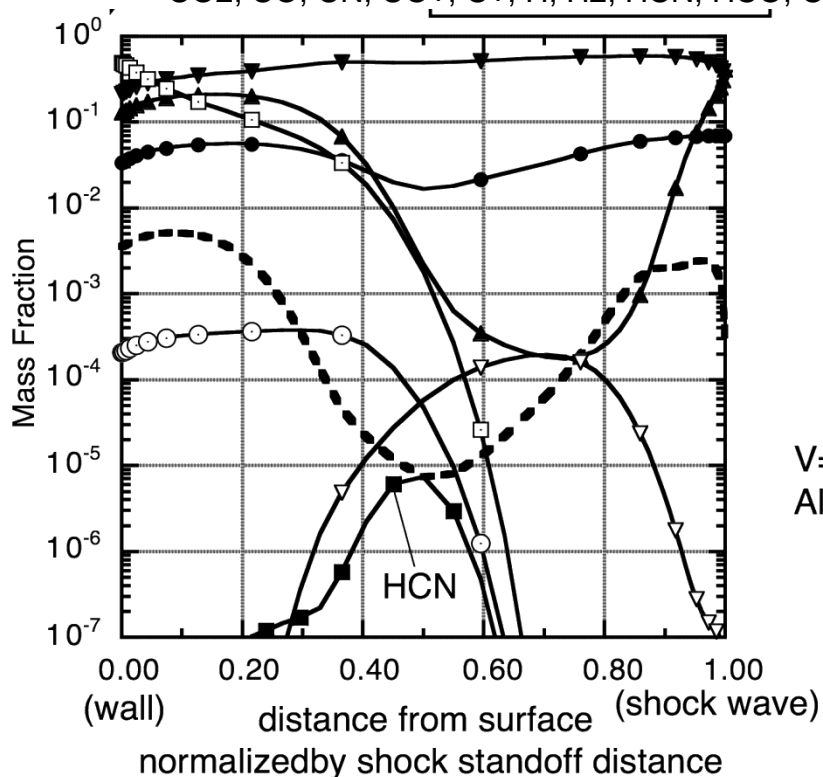




数値計算例

はやぶさカプセルの熱シールド(アブレーション)解析コードの転用

28 species model: N₂, O₂, N, O, NO, NO+, e-, N+, O+, N₂+, O₂+, C, C₂, C₃, CO₂, CO, CN, CO+, C+, H, H₂, HCN, HCO, C₂H₂, C₂H, CH, H₂O, OH



N₂, O₂大気中での
CFRPアブレーション

CO₂, N₂大気中での
H₂Oアブレーション

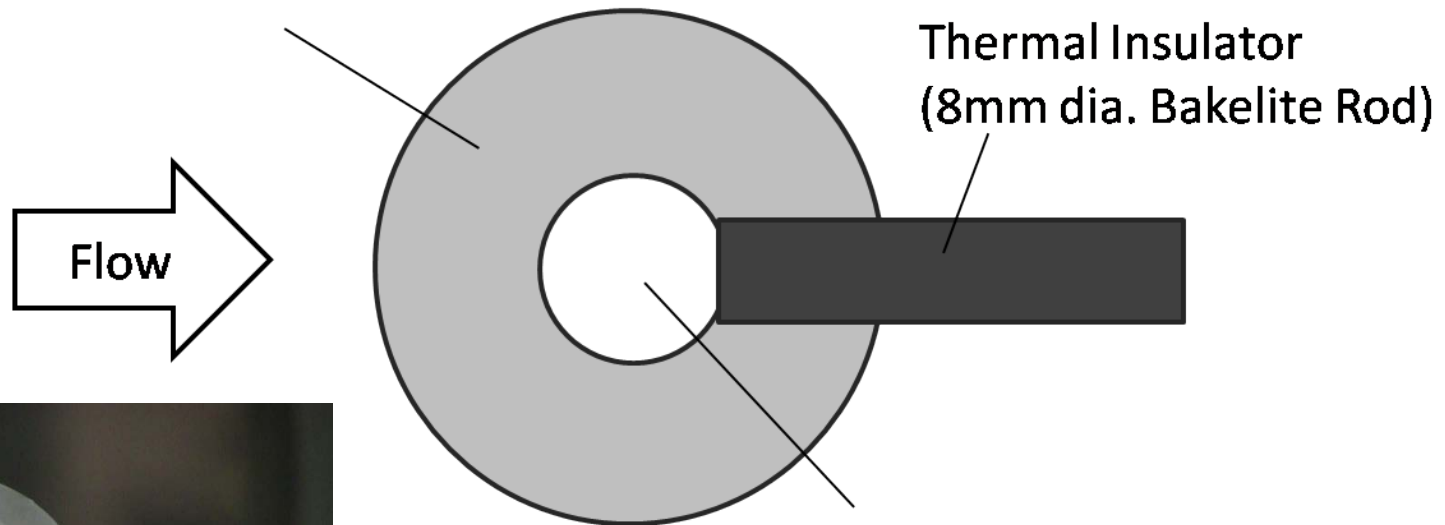


Model of Ice and sting

衝撃波, 空力加熱, 相変化...等を伴う複雑な現象.

⇒ まずは**極超音速風洞実験**による**観察**が有効.

Water Ice (40mm dia.)

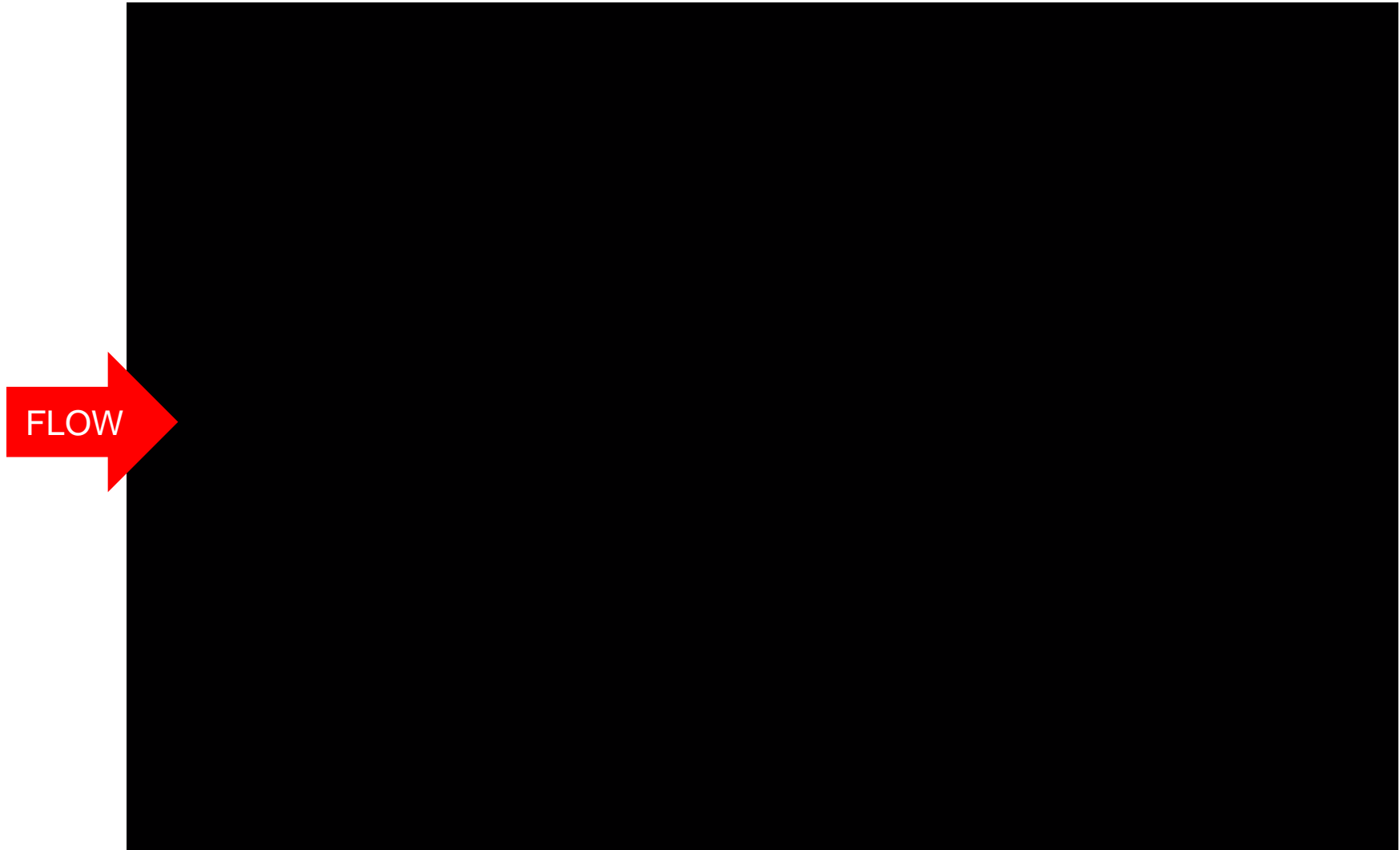


Acrylic Resin Core (15mm dia.)





Ice piece in a hypersonic flow



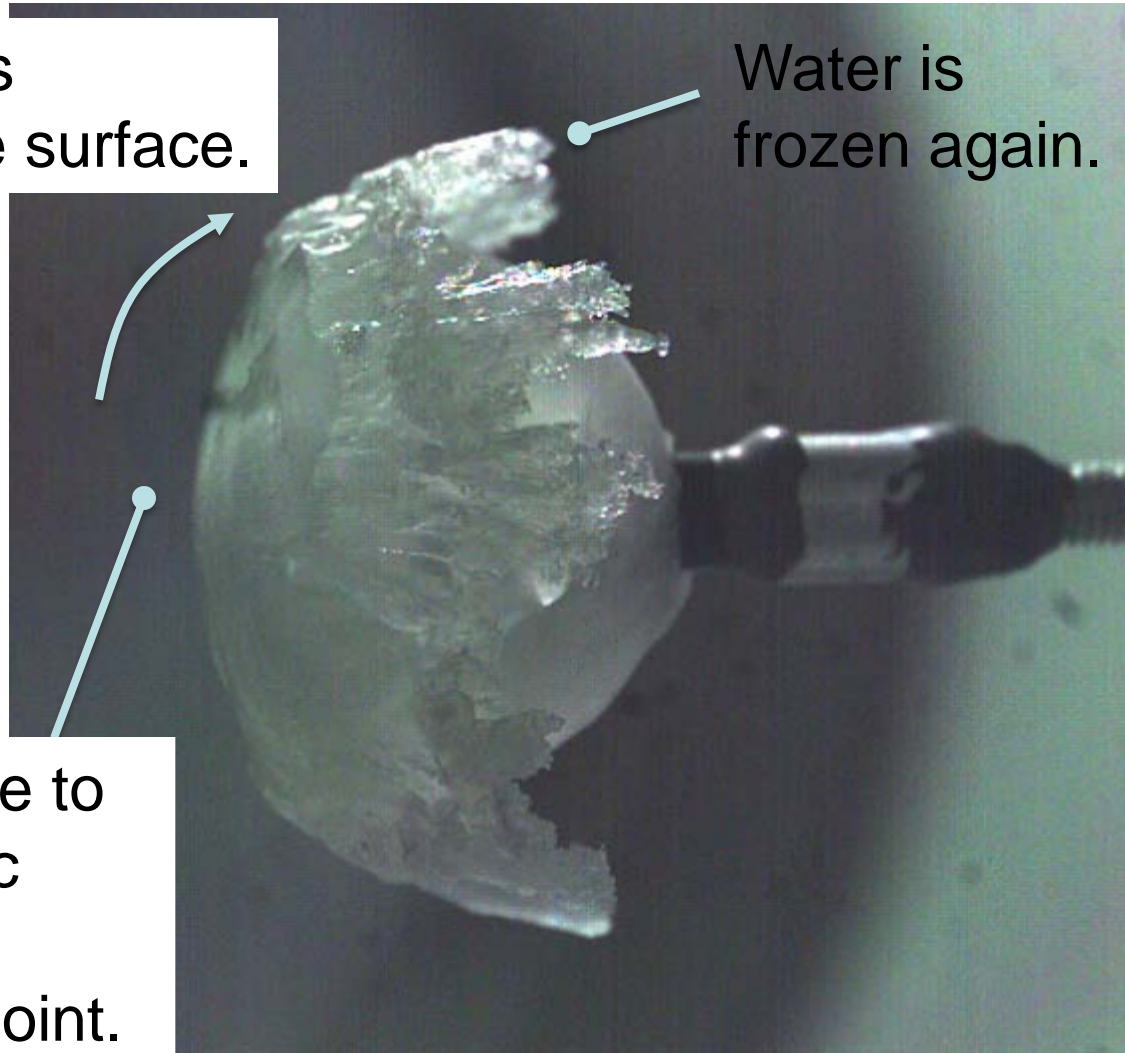


Behavior of Ice ablation

Water flows through the surface.

Water is frozen again.

Flow



Ice melts due to aerodynamic heating at stagnation point.



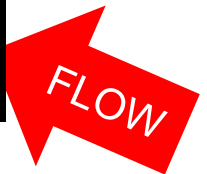
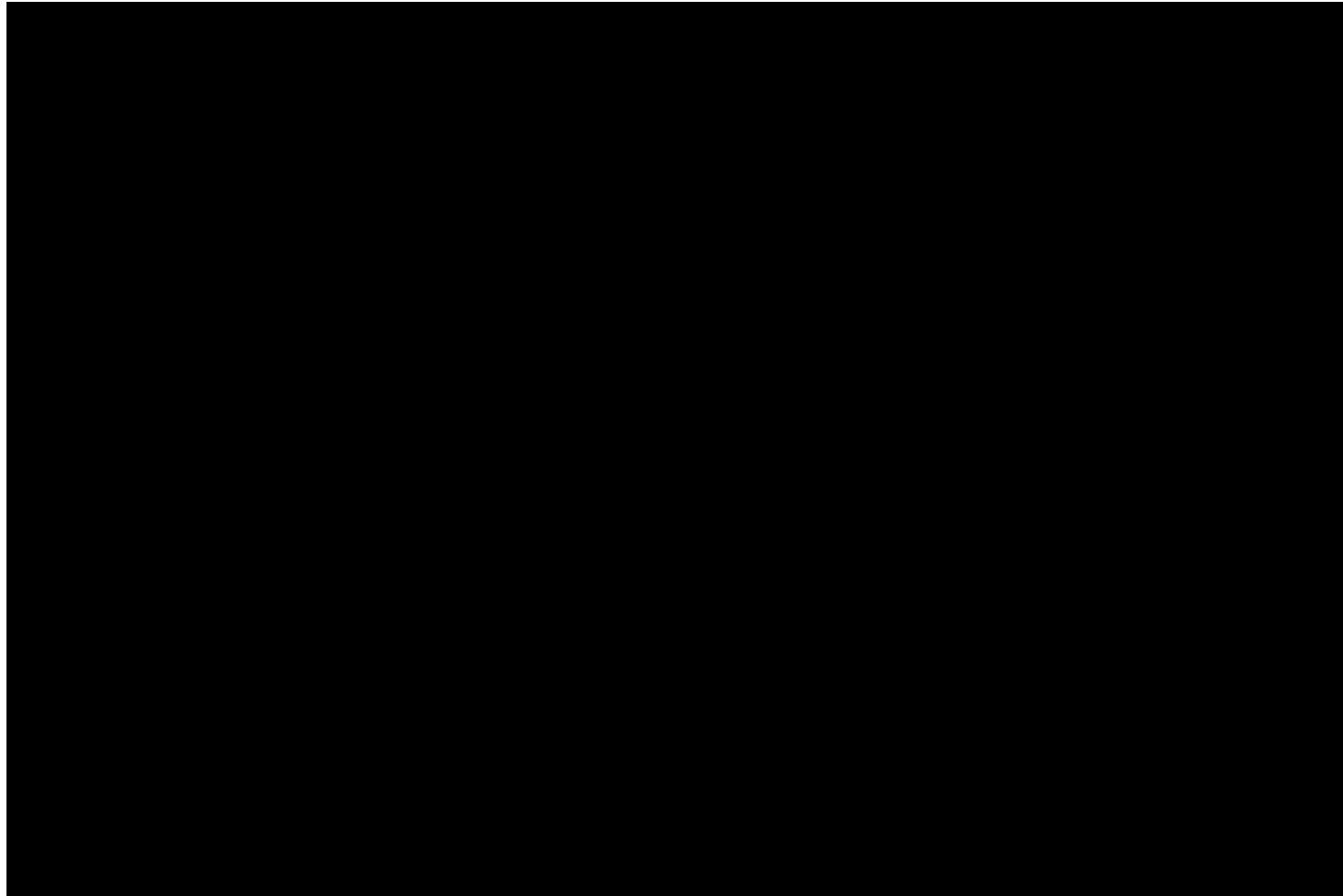


High speed movie 600x(real time)



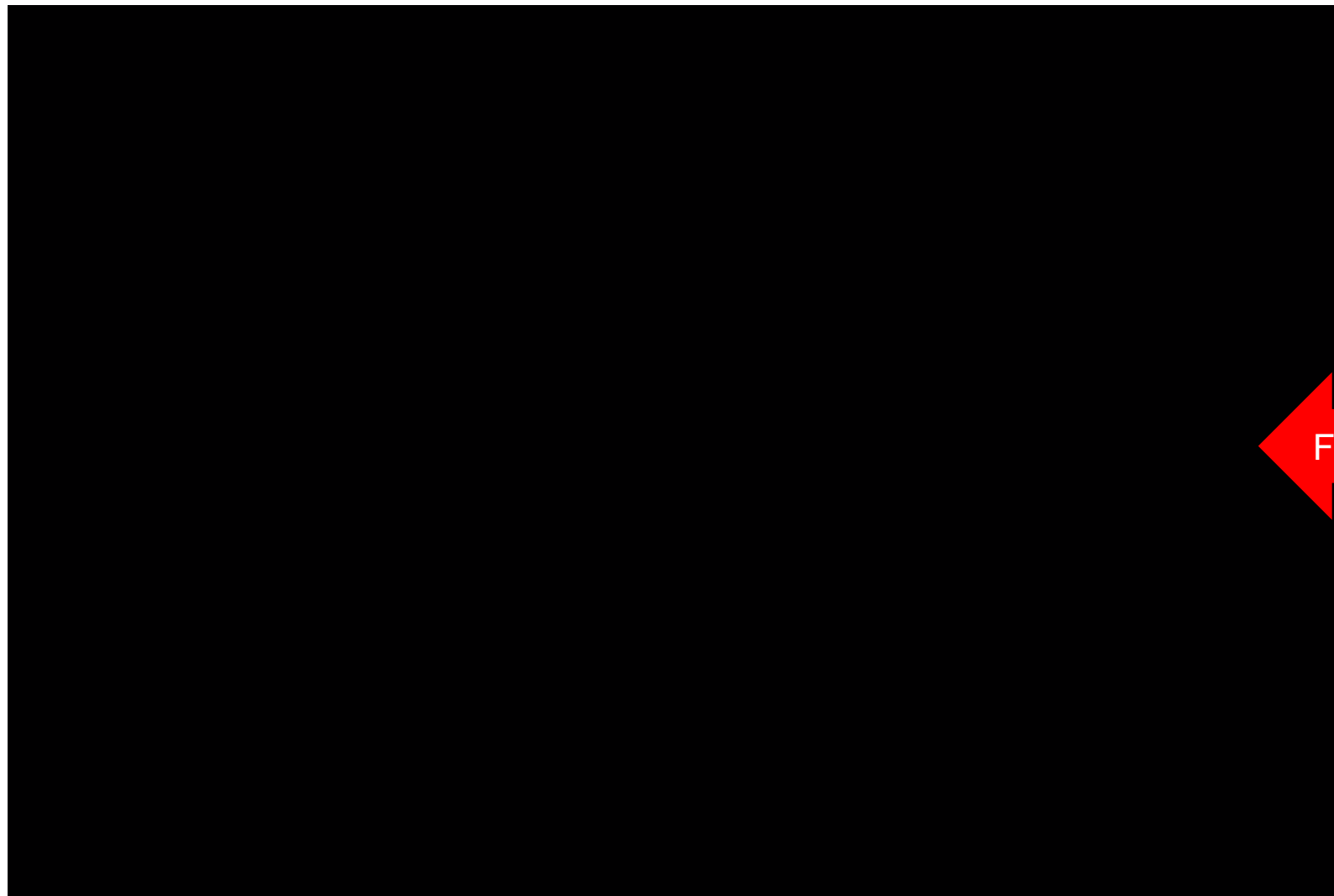


Frontal view



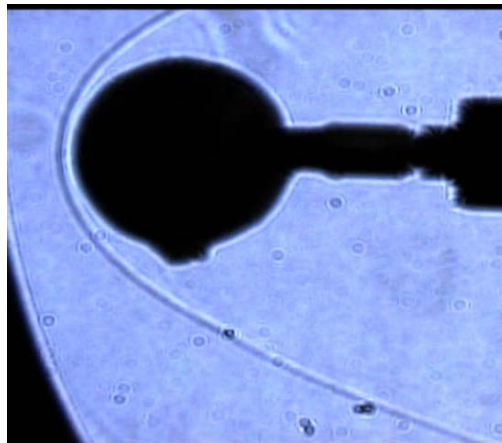


Schlieren movie





Schlieren photographs



0 s



10 s



20 s

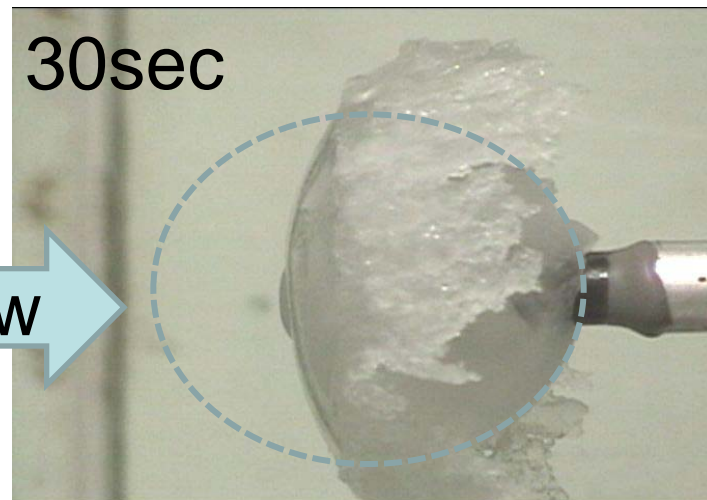
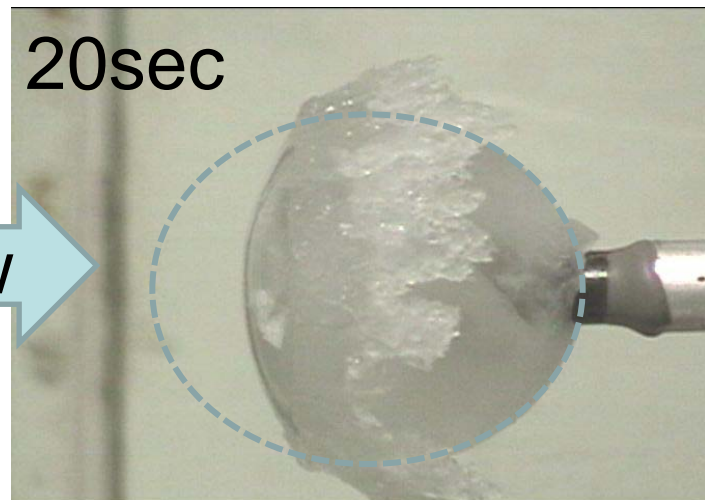
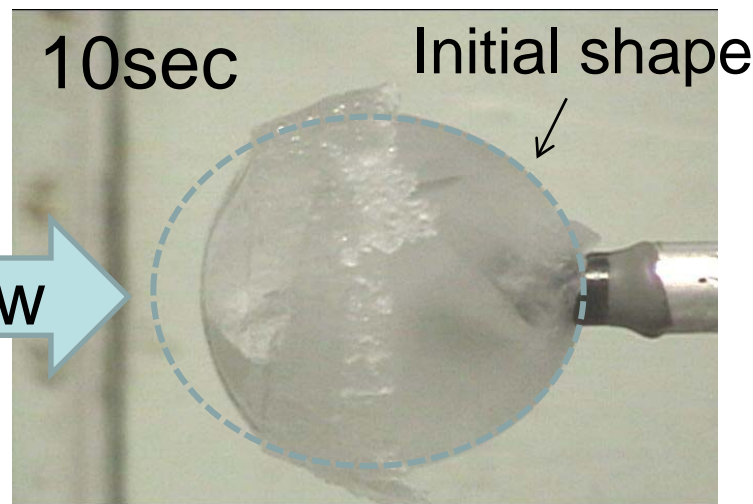
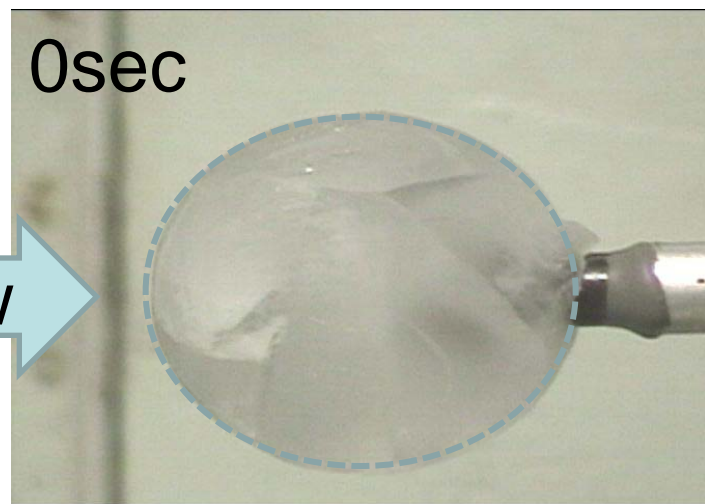


25 s

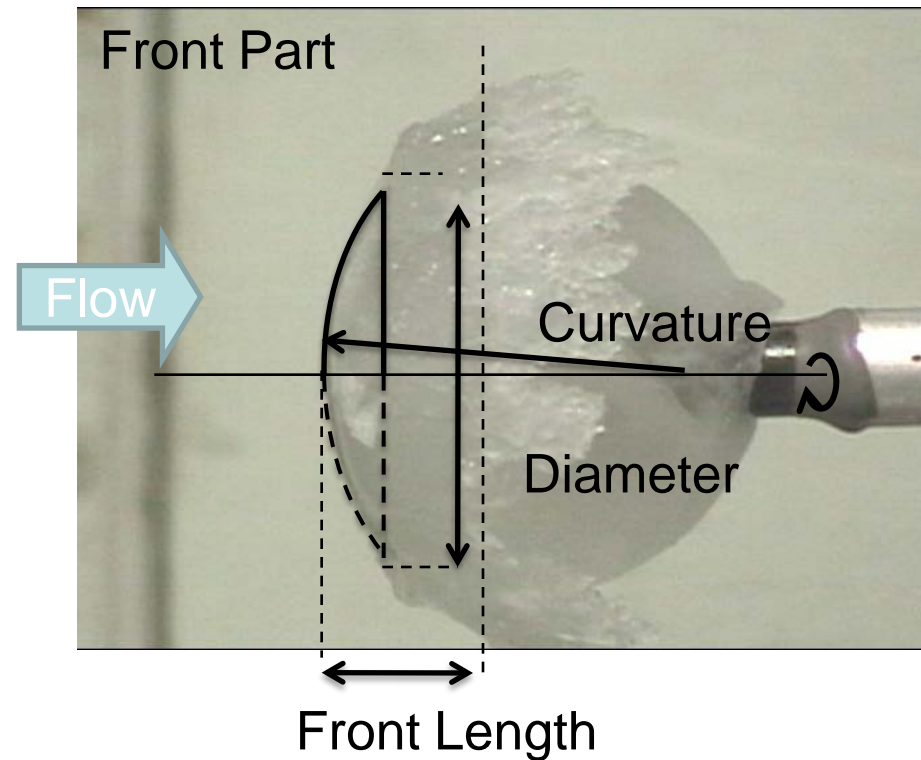
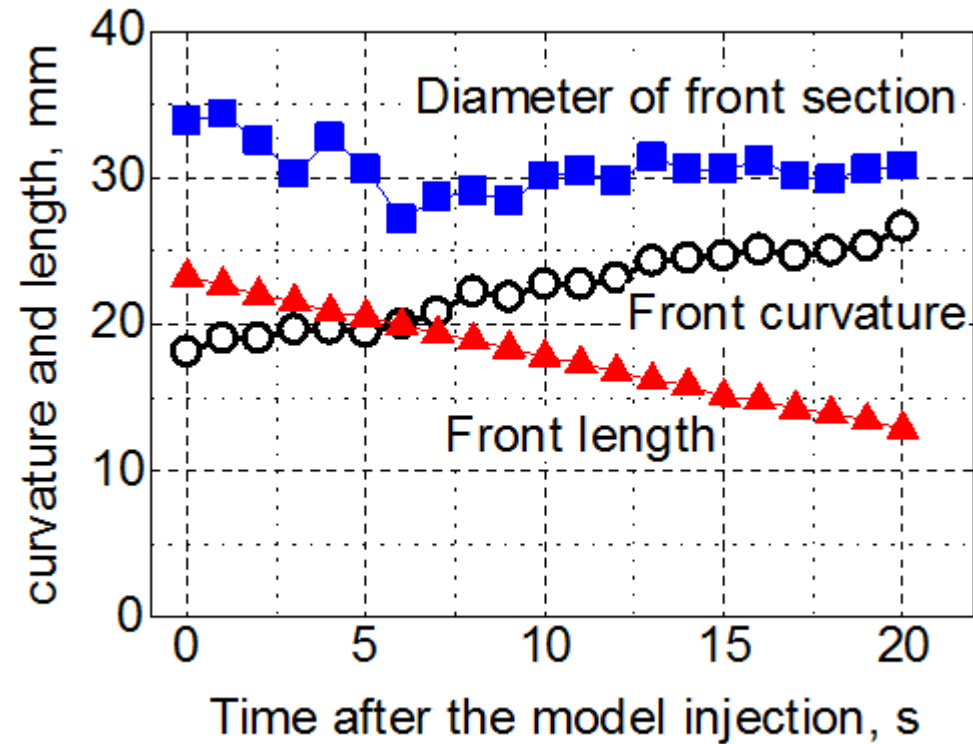




Shape change of icy body

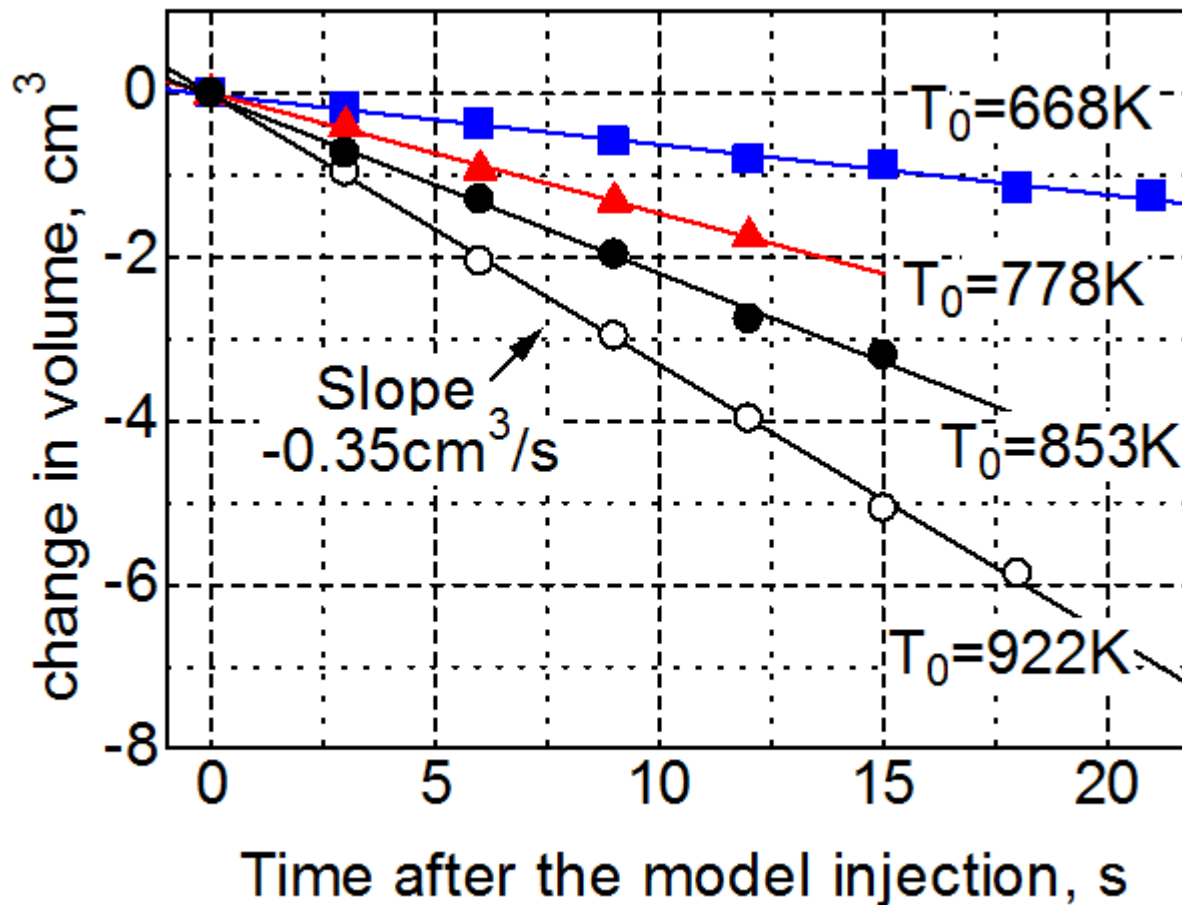


Shape change of front part



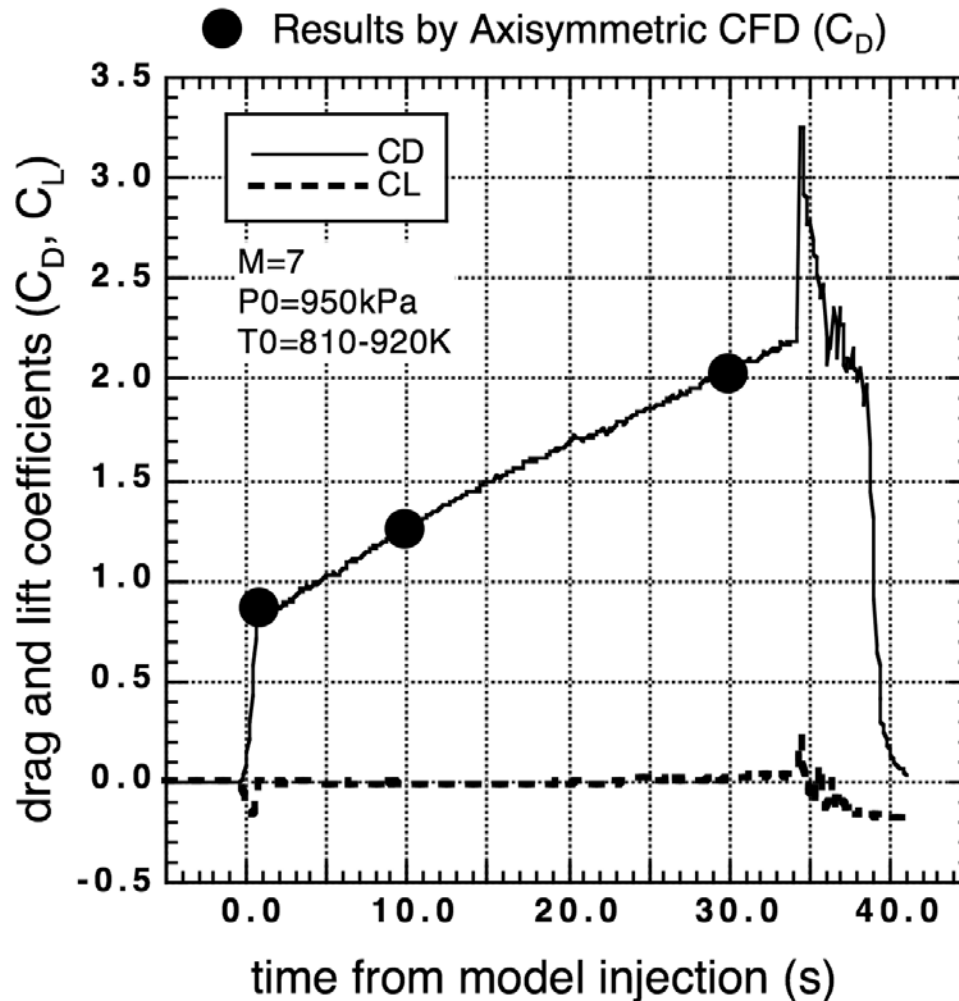


Volume loss of front part



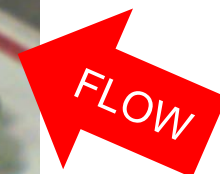
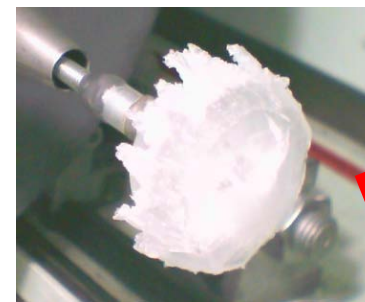
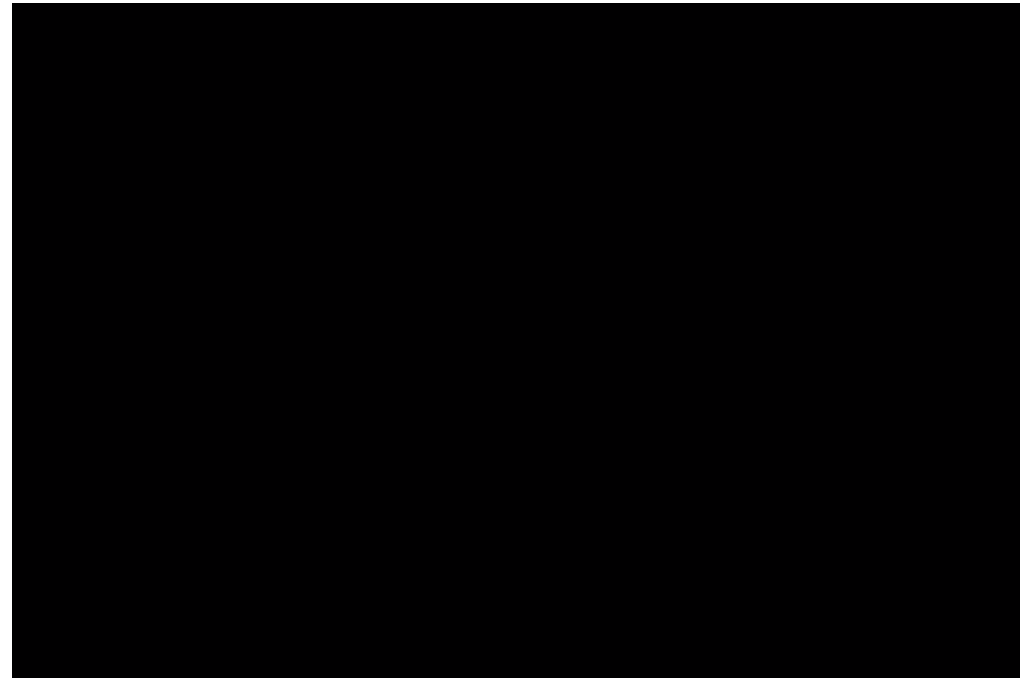
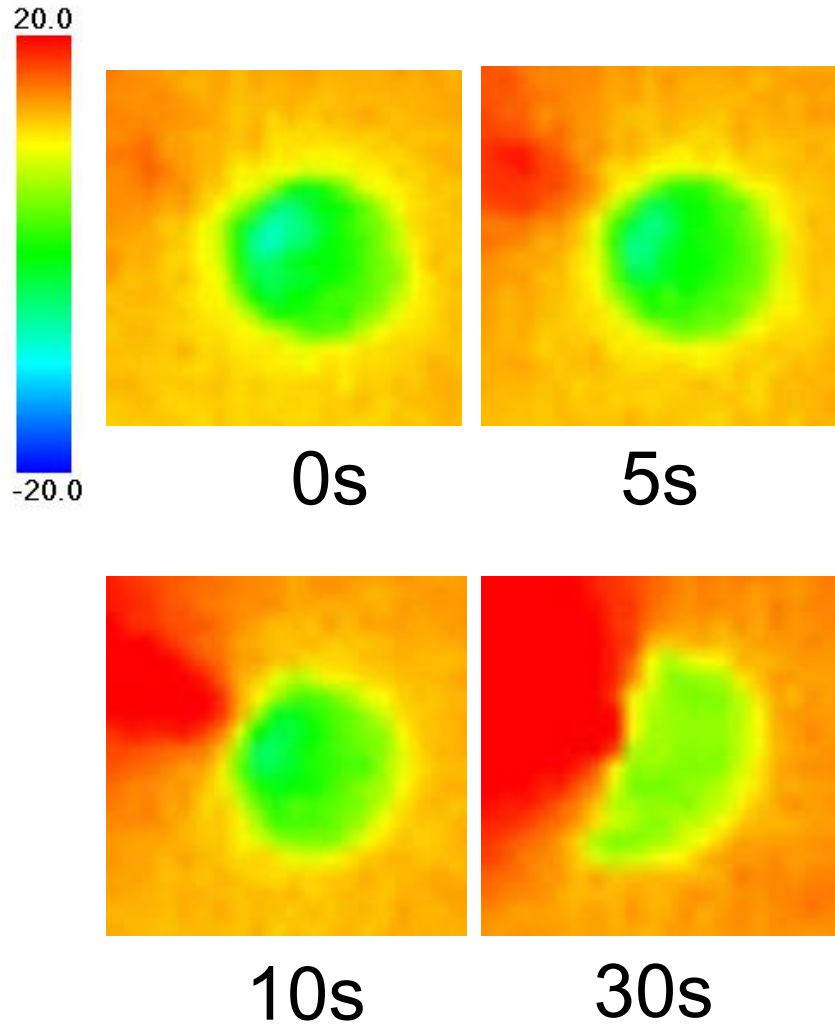


Drag Coefficient



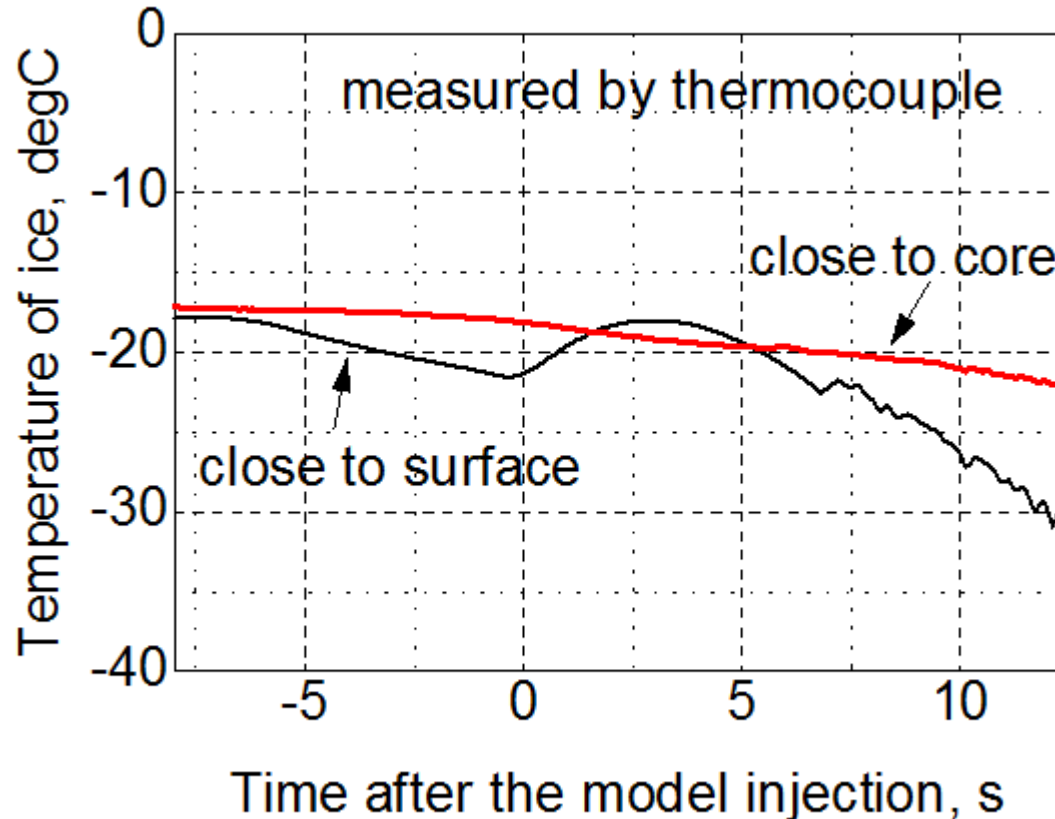


Results of IR camera



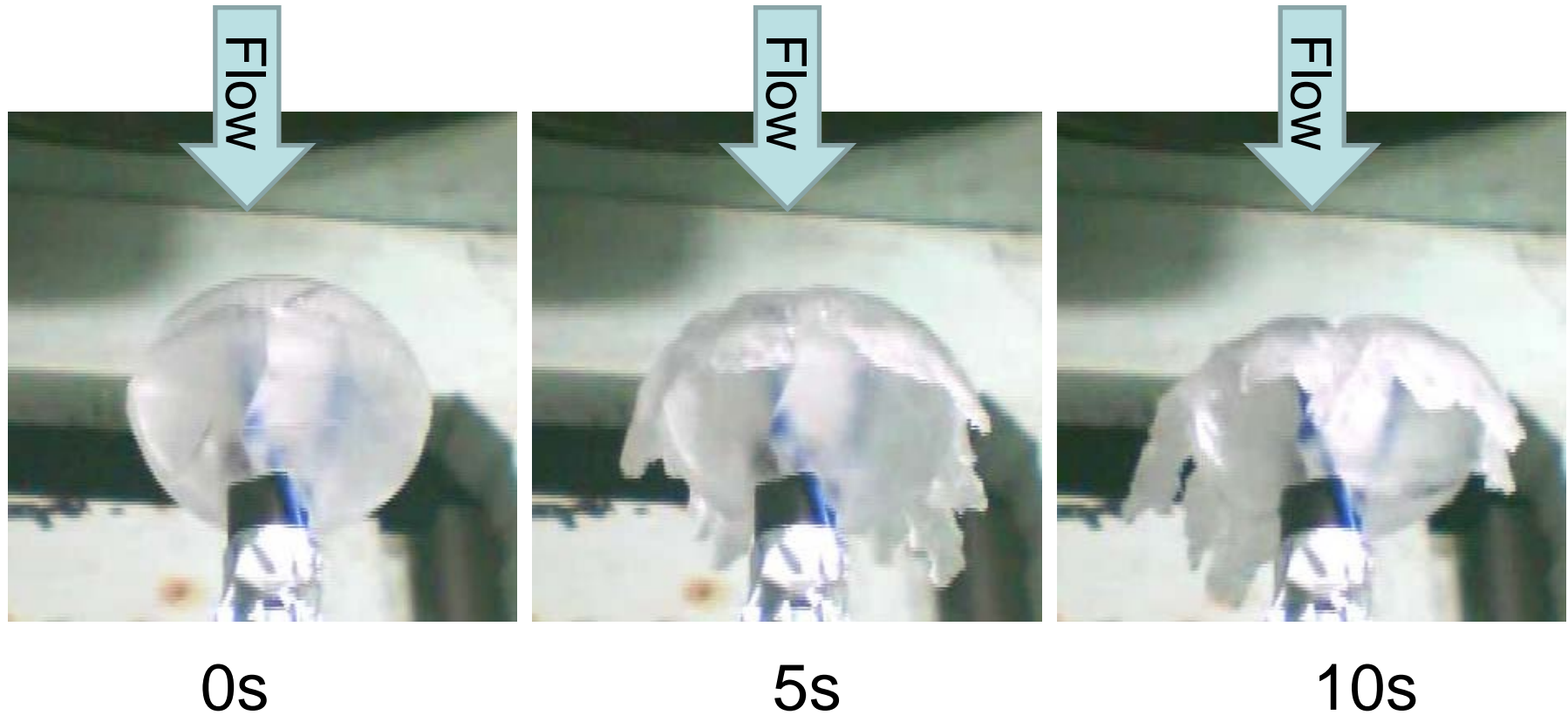


Temperature inside the ice body





Photographs from rear side

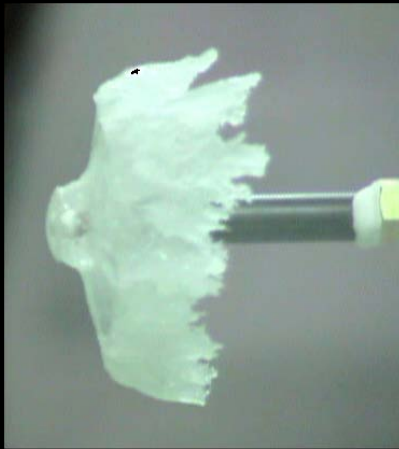




コアの影響

40 sec

アクリル製コア



$T_0=820-900K$
 $P_0=0.95MPa$

鉄製コア



$T_0=800-870K$
 $P_0=0.95MPa$

コアなし



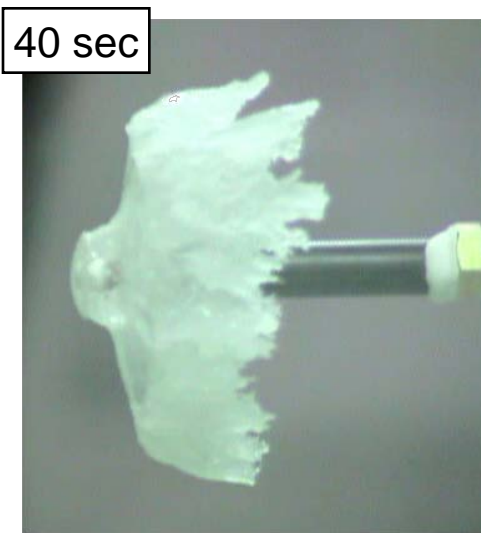
$T_0=800-860K$
 $P_0=0.95MPa$

- ・コアの有無の影響
- ・熱容量, 熱伝導性の影響?

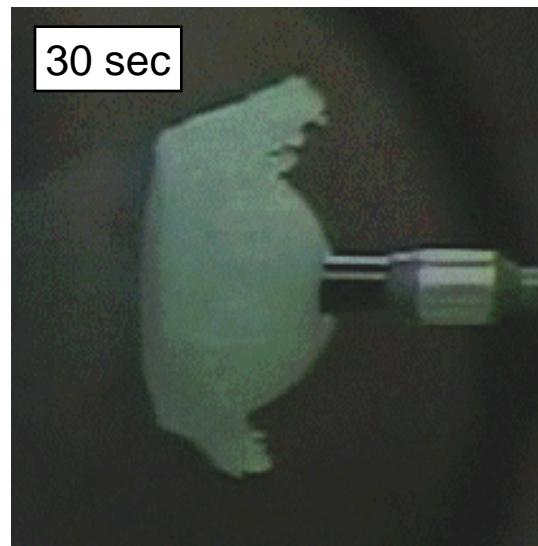




氷の質の影響



$T_0=820-900\text{K}$
 $P_0=0.95\text{MPa}$



$P_0=0.95\text{MPa}$,
 $T_0=850-920\text{K}$

軽石状の氷
(空隙率約18%)



まとめ

航空宇宙工学における大気圏突入極超音速流に関する
研究ツール(風洞実験, 熱化学反応CFD)の利用

- ・大気圏突入天体の空力特性、飛行軌道
 - ・地表との衝突確率や条件
 - ・アブレーションによる天体成分の大気中へのバラまき
- さらには

- ・惑星大気の形成
- ・生命関連化学物質の進化

など惑星科学へ役立てる可能性はないか。

東京大学柏キャンパス
極超音速高エンタルピー風洞
([柏](#) [極超](#) で [検索](#))





*Department of Aeronautics and Astronautics
Graduate School of Engineering*

*Division of Transdisciplinary Sciences
Graduate School of Frontier Sciences*



UT-Kashiwa Hypersonic & High-enthalpy wind tunnel



THE UNIVERSITY OF TOKYO