

話 題 提 供

宇宙分野における 非定常空力問題について

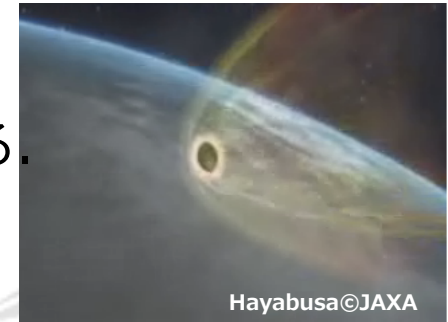
東北大学大学院 工学研究科
航空宇宙工学専攻
永井大樹

東北大学東京分室 東京駅サピアタワー10階

再突入カプセルの動的不安定現象

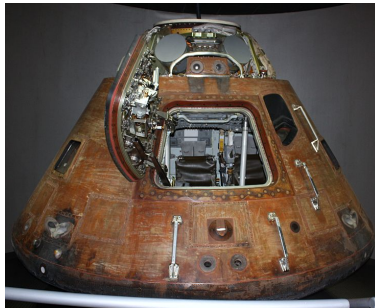
■ 再突入カプセル

- 地球周回軌道（人工衛星，ISSなど）から物資や人を地球に帰還させる場合や，や火星，小惑星表面のサンプルを回収する際，再突入カプセルを使用しての大気圏突入，空気力による減速が行われる．
- 高い突入速度による空力加熱を抑えるために弾道係数の小さい扁平形状が多く用いられている．

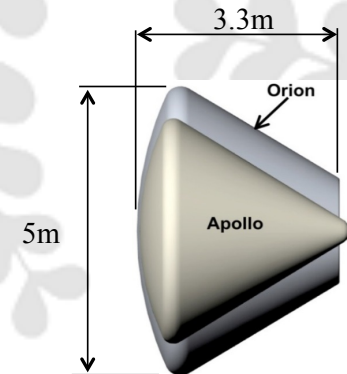


■ 有人宇宙往還機

- スペースシャトルの運用終了に伴い，Apolloのようなカプセル型の有人宇宙往還機が注目されている．



Apollo©NASA

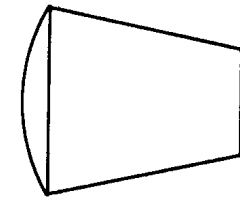
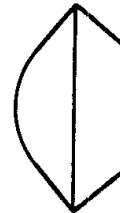


Orion

http://www.nasa.gov/mission_pages/constellation/orion/orion_announcement.html

再突入カプセルの分類

Nose Radius/Dia.	<0.1	~0.5	≤ 0.5
Semi-vertex Angle	10~20°	40~70°	<50°
Length/Diameter	>0.5	~0.5	<0.5
Cd	Relatively small	Relatively large	Relatively large
Ballistic Coefficient	Large	Small	Medium
Example		Viking, Galileo Pioneer Venus Huygens OREX, Hayabusa	Gemini Apollo Orion



Wind Tunnel & Test Model

□ 高速気流総合実験設備 (JAXA/ISAS)

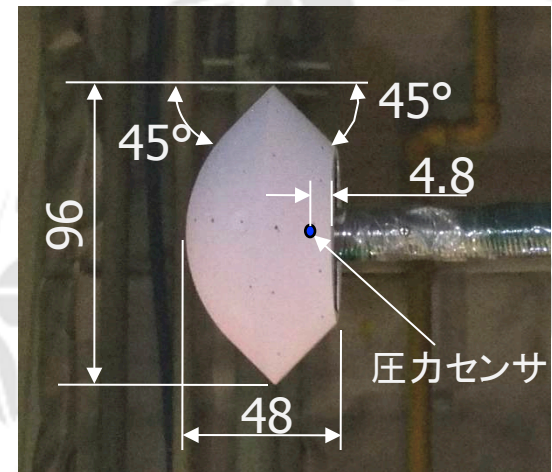
形式： 間欠吹出し式
 測定部断面積： 600 [mm]×600 [mm]
 測定時間： 30 秒以上
 マッハ数： 0.3~1.3
 総温： 常温
 作動ガス： 乾燥空気



□ カプセル模型

最大直径： $d = 96$ [mm]
 全長： $l = 48$ [mm]
 前面円錐部半頂角： 45 [deg]
 背面円錐台半頂角： 45 [deg]

- ・ 圧力センサを背面中央部に1点設置
- ・ 模型はピッチ軸方向の回転を許容して支持
(ポテンシオメータ内蔵)



Wind Tunnel & Test Model

□ 高速気流総合実験設備 (JAXA/ISAS)

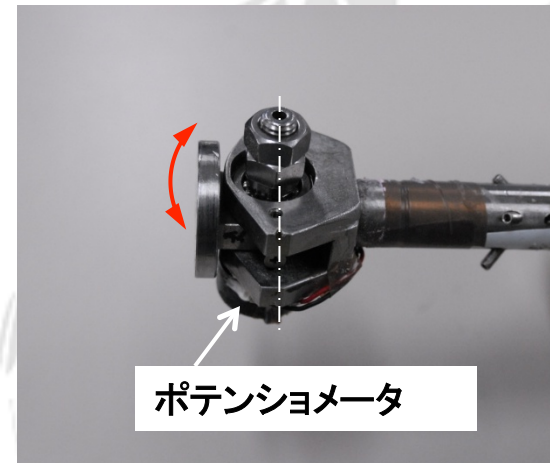
形式： 間欠吹出し式
 測定部断面積： 600 [mm]×600 [mm]
 測定時間： 30 秒以上
 マッハ数： 0.3~1.3
 総温： 常温
 作動ガス： 乾燥空気



□ カプセル模型

最大直径： $d = 96$ [mm]
 全長： $l = 48$ [mm]
 前面円錐部半頂角： 45 [deg]
 背面円錐台半頂角： 45 [deg]

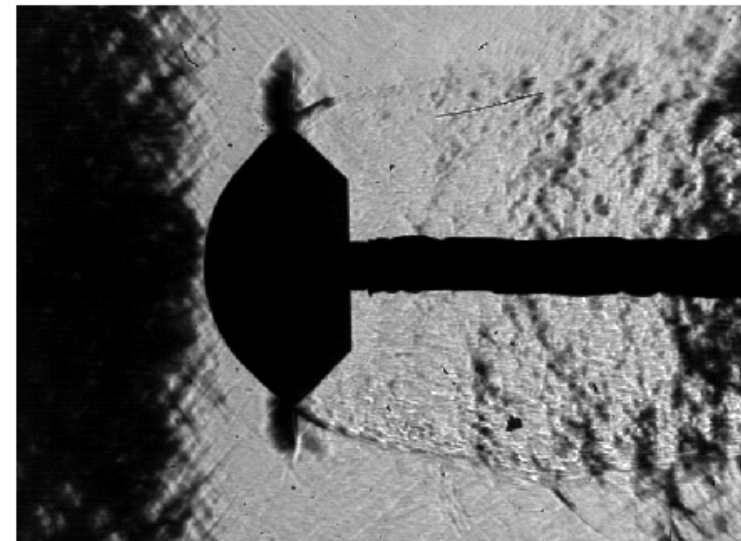
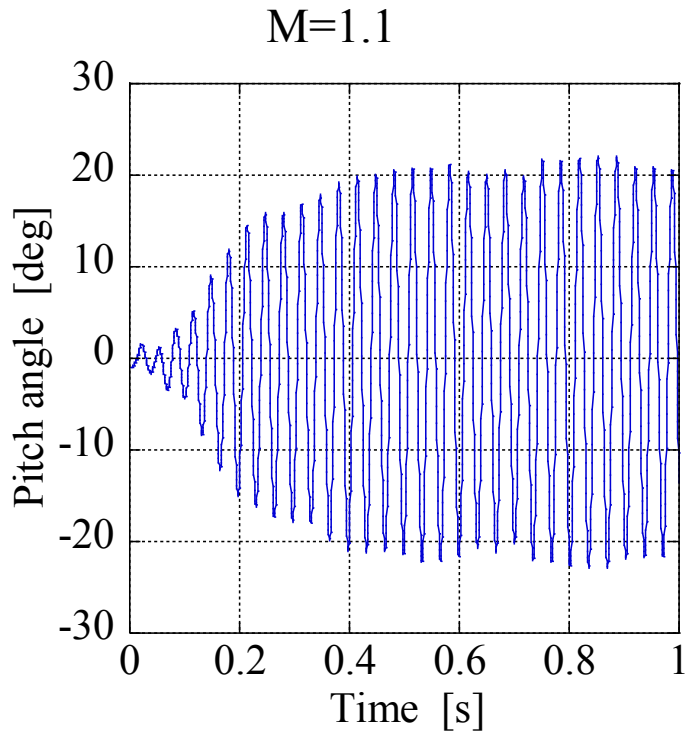
- ・ 圧力センサを背面中央部に1点設置
- ・ 模型はピッチ軸方向の回転を許容して支持
(ポテンシオメータ内蔵)



再突入カプセルの動的不安定現象

■ 遷音速付近での動的不安定

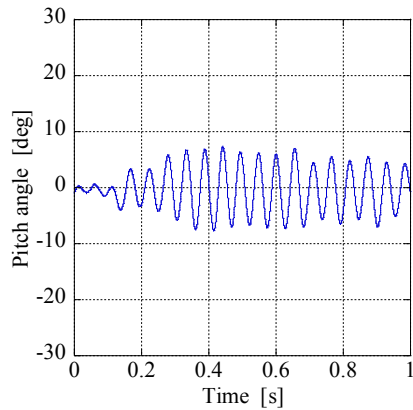
- 弾道型カプセルが空気抵抗により、極超音速から遷音速に減速される際に、ピッチ方向に振動が生じる。



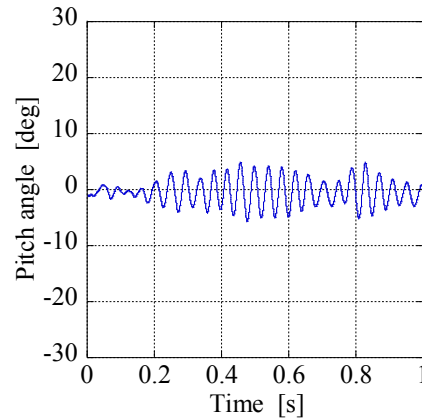
Current time 0 ms

- 一定の振幅をもつリミットサイクル振動
- 振幅は21 deg, 周波数は30 Hz

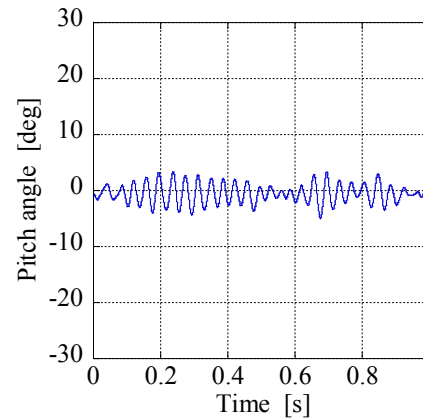
ピッチ角計測結果 (マッハ数による違い)



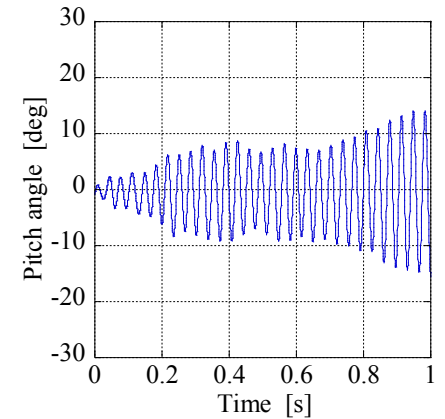
(a) $M=0.5$



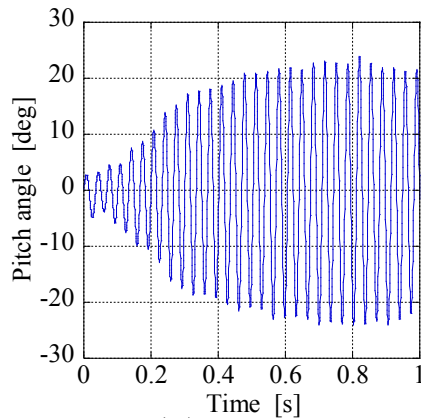
(b) $M=0.7$



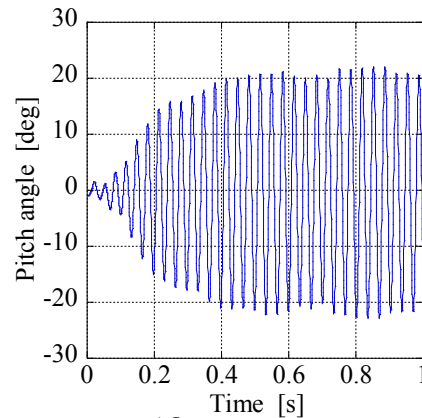
(c) $M=0.8$



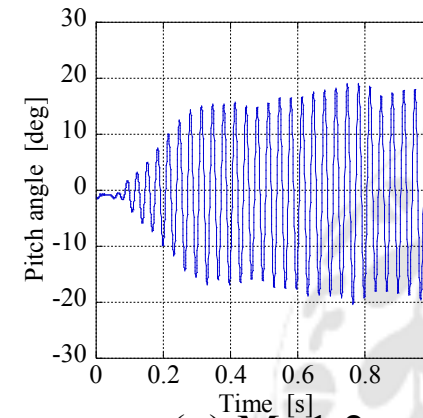
(d) $M=0.9$



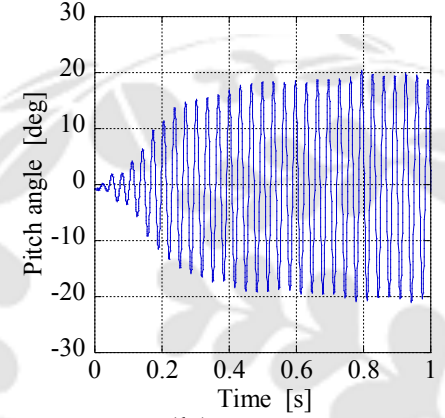
(e) $M=1.0$



(f) $M=1.1$



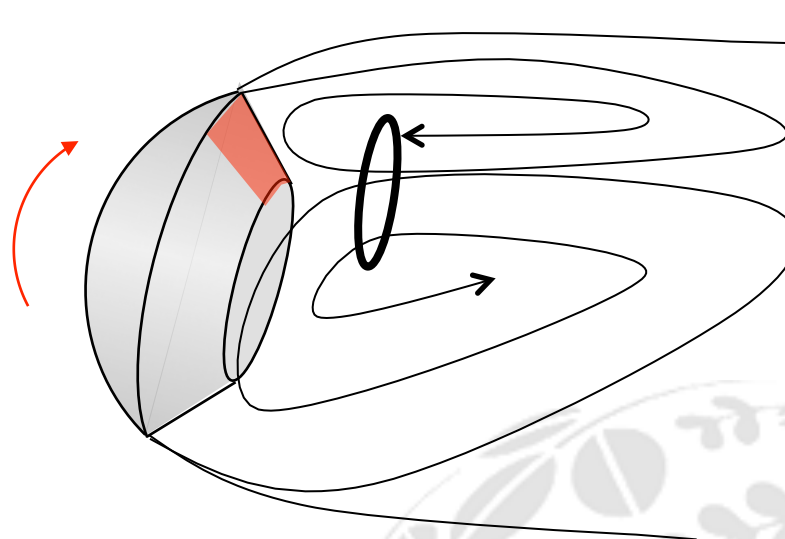
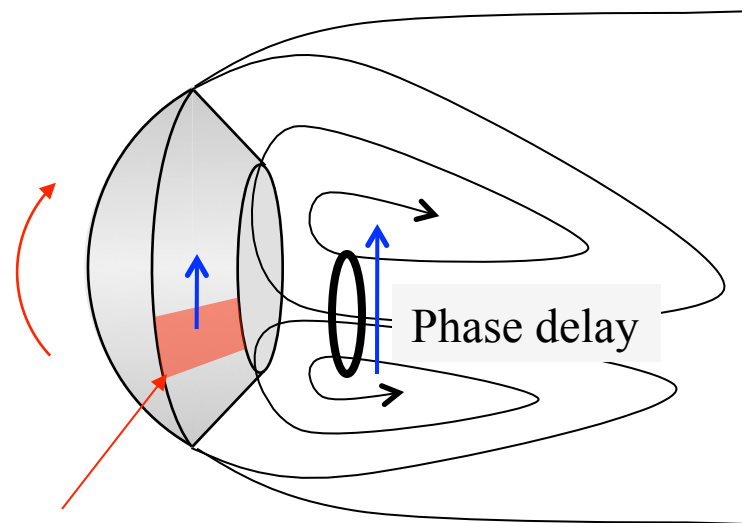
(g) $M=1.2$



(h) $M=1.3$

$\theta_+ = 0 \text{ deg}$

$\theta_+ = 15 \text{ deg}$



High pressure area

- カプセル後流の逆流域は位相遅れを伴って上下に移動する
- $\theta_+ = 0 \text{ deg}$ では、逆流域の位相遅れによって高圧領域が中央部よりも下側に存在する

➡ ピッチ角が小さい領域では高圧領域の位相遅れが動的に不安定なモーメントを誘起する

動的試験法

分類		運動の自由度	測定微係数	特徴	動的不安定測定への適否
振動法	自由振動法	1	減衰および結合微係数	<ul style="list-style-type: none"> • 設備が簡単 • 振動振幅およびreduced frequencyの任意設定に難あり. 	△
	強制振動法 (1)変位測定法	1	減衰および結合微係数	<ul style="list-style-type: none"> • 振動振幅およびreduced frequencyの任意に設定可能 • 加振装置の干渉大 	×
	(2)反力測定法	1	すべての微係数	<ul style="list-style-type: none"> • 振動振幅およびreduced frequencyの任意に設定可能 • 高精度な加振装置が必要 	○
	自由回転法	1	減衰および結合微係数	<ul style="list-style-type: none"> • 設備が簡単 • 自由飛行法に近い • reduced frequencyは任意に設定できない. 	○
自由飛行法		6	すべての微係数	<ul style="list-style-type: none"> • 運動が全く拘束を受けない • ステイングによる干渉がない • 大がかりな試験設備が必要 • データ解析に手間がかかる 	○

Von Karmanによる遷音速相似パラメータ $\bar{\omega} = \frac{2kM}{|1-M^2|}$

