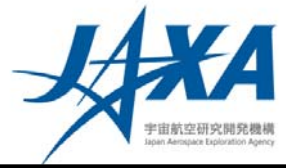




中部大学



微小重力を利用した 基礎物理現象の研究

中部大学 工学部 理学教室

小林 礼人



前職：宇宙航空研究開発機構
ISS科学プロジェクト室研究員

ISSとは何か？

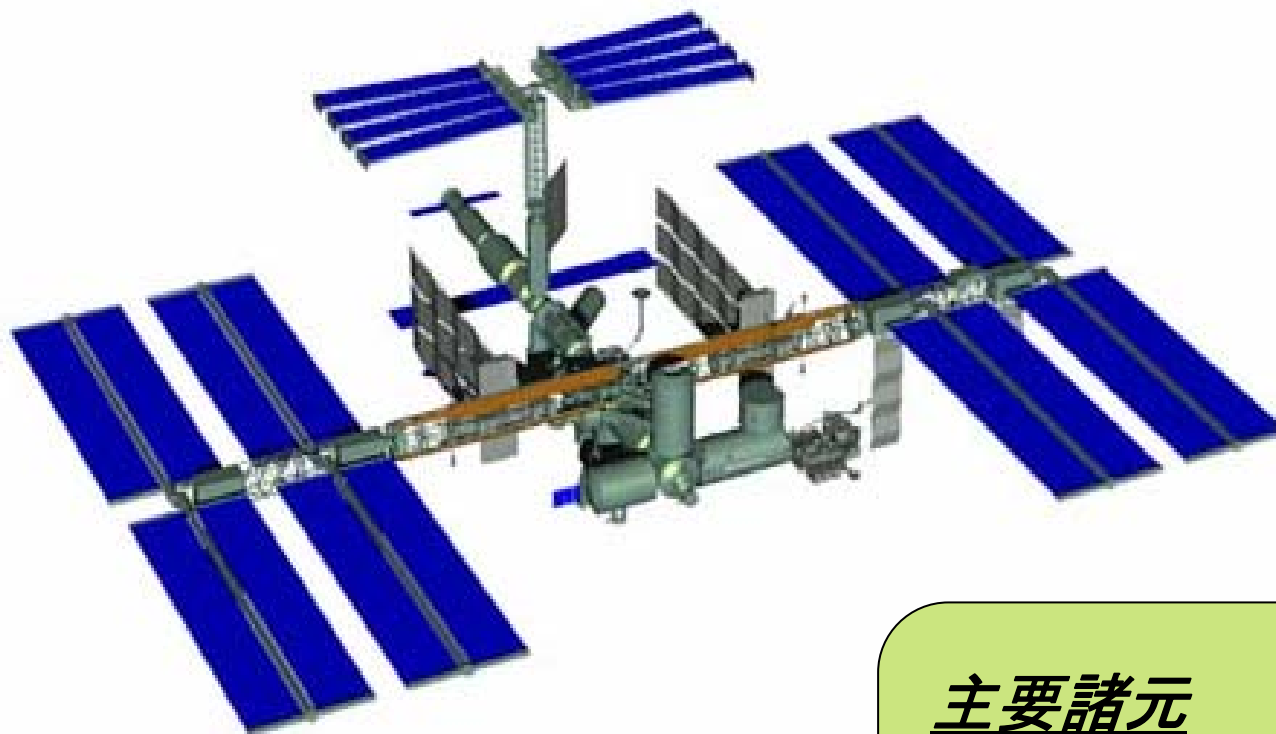
ISS=International Space Station
(国際宇宙ステーション)



国際宇宙ステーション

アメリカ、日本、カナダ、
ヨーロッパ各国、ロシア
が協力して計画

完成時期未定



国際宇宙 ステーション

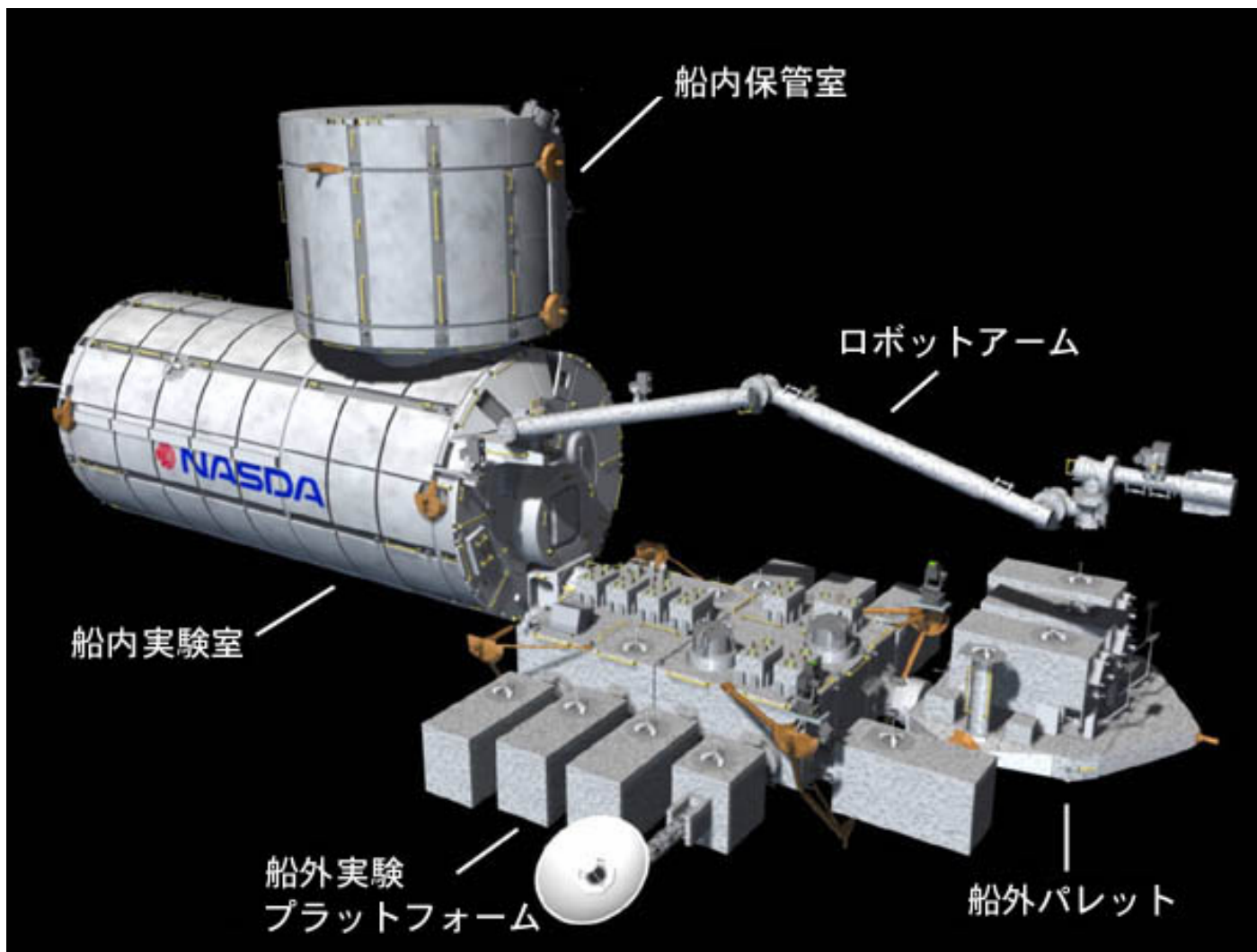
主要諸元

(寸法): 108.5m × 88.4m

(重量): 約453.6t

(電力): 総発電電力110kW

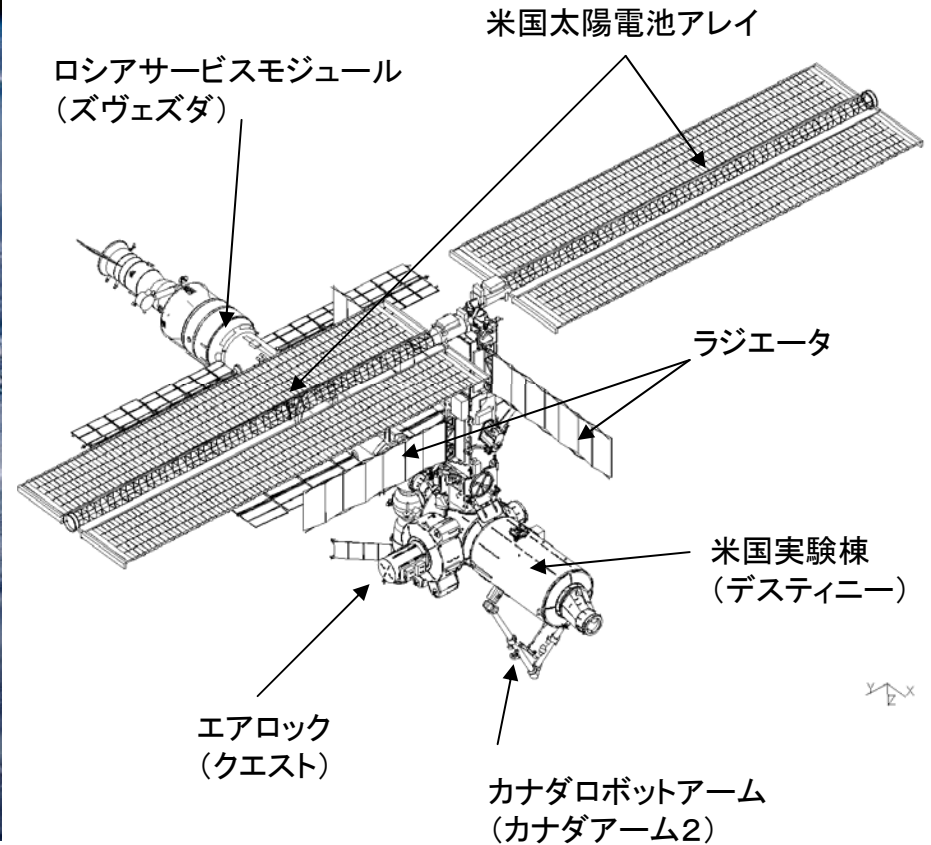
日本の実験棟「きぼう」



「きぼう」共通実験装置

・温度勾配炉	材	(船内)
・帯域炉	料	(船内)
・細胞培養装置	ラ	(船内)
・クリーンベンチ	イ	(船内)
・生物実験ユニット	フ	(船内)
・流体物理実験装置		(船内)
・溶液・蛋白質結晶成長実験装置		(船内)
・宇宙観測ミッション装置		(船外)
・全天X線監視装置		(船外)
・光通信実験装置		(船外)
・超伝導サブミリ波リム放射サウンダー		(船外)

ISSの現状 (2002年2月現在)



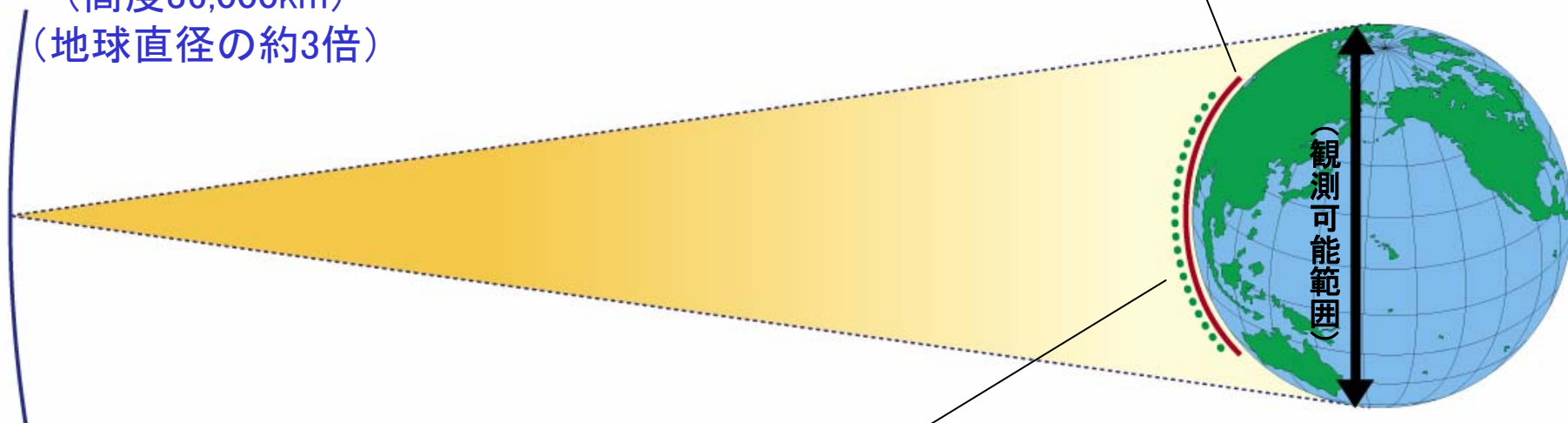
人工衛星・宇宙ステーション の高度はどれくらい？

静止衛星軌道
(高度36,000km)
(地球直径の約3倍)

国際宇宙ステーション
(高度400km)
(地球半径の16分の1)

地球観測衛星
(高度800km)

地球
(半径: 6,400km)



宇宙環境の特徴

微小重力： 地上の1万～100万分の1

宇宙放射線： 様々な放射線の複合環境

広大な視野： 全天視野を確保

高真空： 地上の100億分の1以下

豊富な太陽エネルギー： $1.4\text{kw}/\text{m}^2$

特徴的な大気組成： 85%が原子状酸素

宇宙環境利用研究

微小重力科学： 材料創製

生物学： 植物形態

宇宙医学： 筋肉萎縮

宇宙科学： 天体観測

地球科学： 地球観測

宇宙利用技術： インフラ

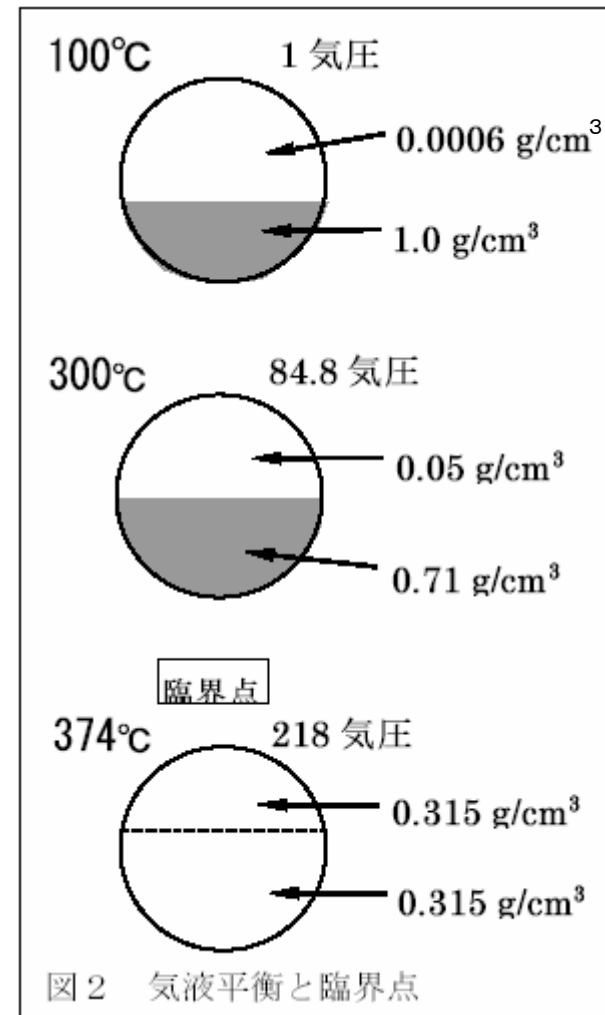
超臨界流体とは

密閉した容器に水を入れて加熱する。

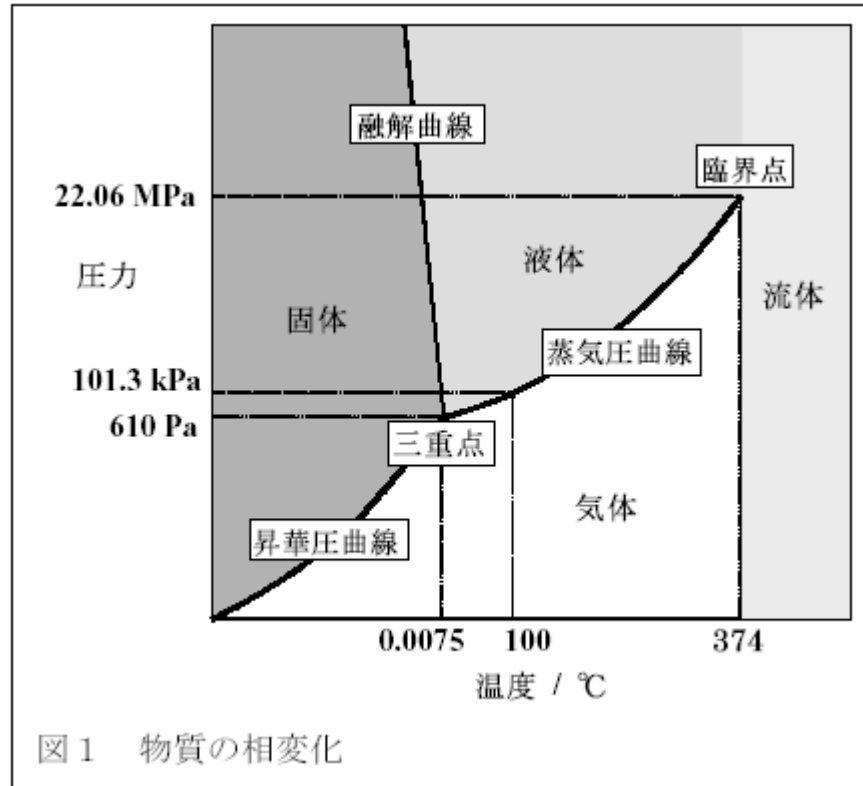
→ 374°Cで液体と気体の密度が同じになる。

= 気液臨界点

臨界温度・臨界圧力より高温高圧の流体を、超臨界流体と呼ぶ。

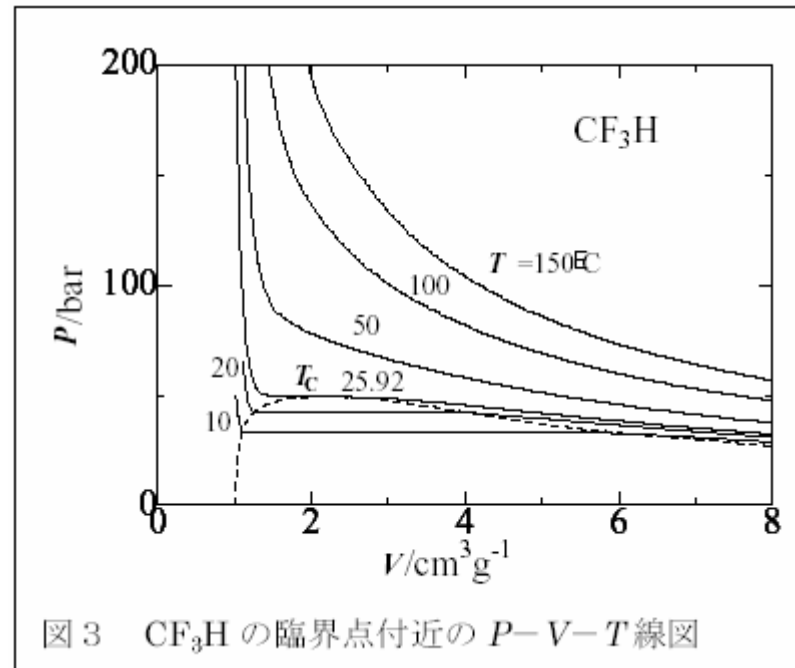


P(圧力)－T(温度)相図 (水の場合)



蒸気圧曲線は、臨界点で終わっている。臨界温度・臨界圧力より高温高圧の流体が超臨界流体。

P(圧力)－V(体積)図



- ・臨界温度以下では2相共存領域がある。
- ・臨界点付近で $\frac{dV}{dp}$ が大きくなる。(重力影響大)

さまざまな物質の臨界点

表1 分子の臨界定数

分子	臨界温度	臨界圧力	臨界密度	分子	臨界温度	臨界圧力	臨界密度
H ₂	-239.9	12.8	0.032	CF ₃ Cl	28.8	38.7	0.579
N ₂	-147.0	33.5	0.314	NH ₃	132.3	111.3	0.235
Xe	16.6	57.7	1.110	CH ₃ OH	240.0	78.5	0.272
<u>CO₂</u>	<u>31.0</u>	<u>72.9</u>	<u>0.468</u>	CH ₃ CN	274.7	47.7	0.237
C ₂ H ₆	32.3	48.2	0.203	H ₂ O	374.2	218.3	0.315
CF ₃ H	25.9	47.8	0.526	C		atm	g/cm ³

物質によって、臨界温度・臨界圧力は異なる。

(ただし、ふるまいは相似形)

超臨界流体の性質 [液体でも気体でもない流体]

表2 物質の状態と輸送物性

状態	気体 1 atm, 25°C	超臨界流体 T_c, p_c	超臨界流体 $T_c, 4p_c$	液体 1 atm, 25°C
密度 [kg/m ³]	0.6 ~ 2	200 ~ 500	400 ~ 900	600 ~ 1,600
粘度 $\times 10^5$ [kg/m·s]	1 ~ 3	1 ~ 3	3 ~ 9	20 ~ 300
拡散係数 $D \times 10^8$ [m/s]	1,000 ~ 4,000	5 ~ 40	1 ~ 10	0.02 ~ 0.2
熱伝導率 $\lambda \times 10^3$ [W/m·K]	4 ~ 30	20 ~ 80	40 ~ 150	80 ~ 250

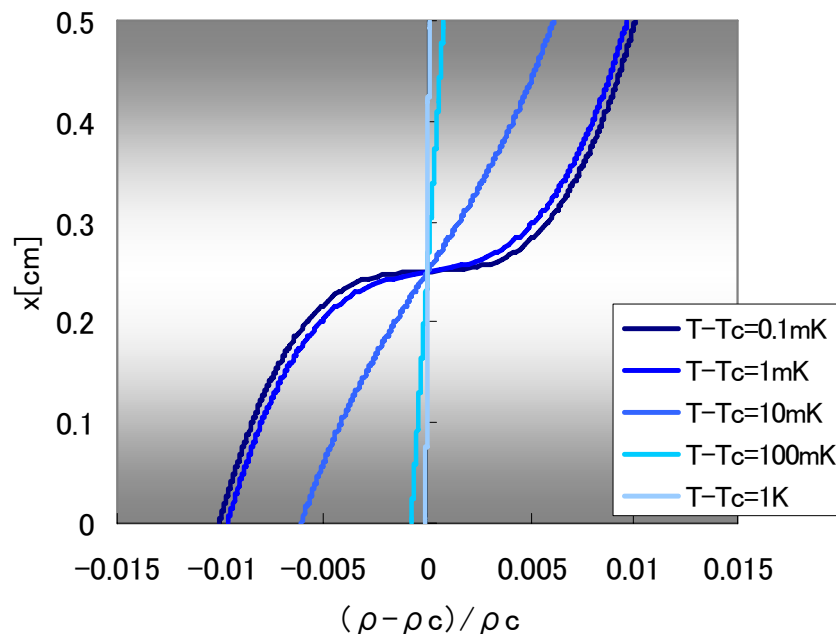
- ・液体に近い密度
- ・気体に近い粘度
- ・液体より大きい拡散係数
- ・液体に近い熱伝導



さまざまな工業
応用が可能

超臨界流体の重力影響

重力下の密度分布



わずか5mmのセルでも、臨界温度+1mKにまで接近すれば上下で約2%の密度差が生じる。

臨界点付近での異常

圧縮率 $\frac{dV}{dp} \rightarrow \infty$ 発散 \rightarrow 重力影響大

膨張率 $\frac{dV}{dT} \rightarrow \infty$ 発散

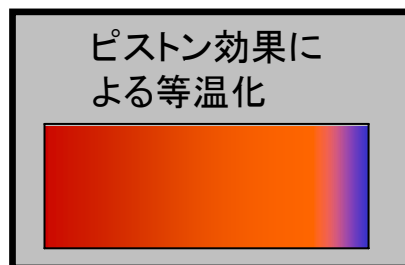
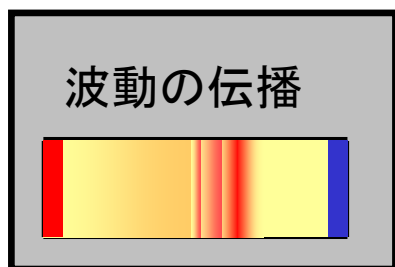
熱拡散 $D \rightarrow 0$ 無限小

} ピストン効果発現に必須

加熱 →

臨界流体

ピストン効果の時間スケール



欧州
宇宙実験

熱拡散



10^{-5}

10^{-3}

10^{-1}

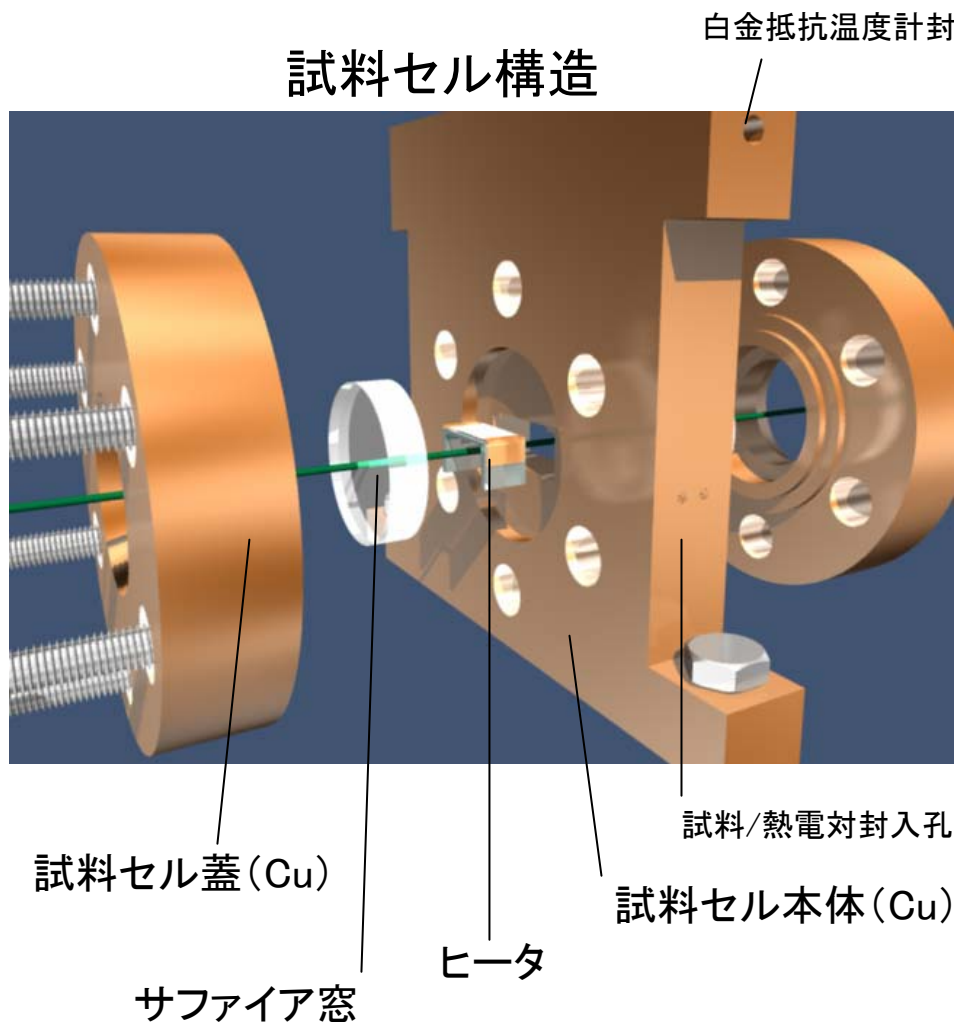
1

10^1

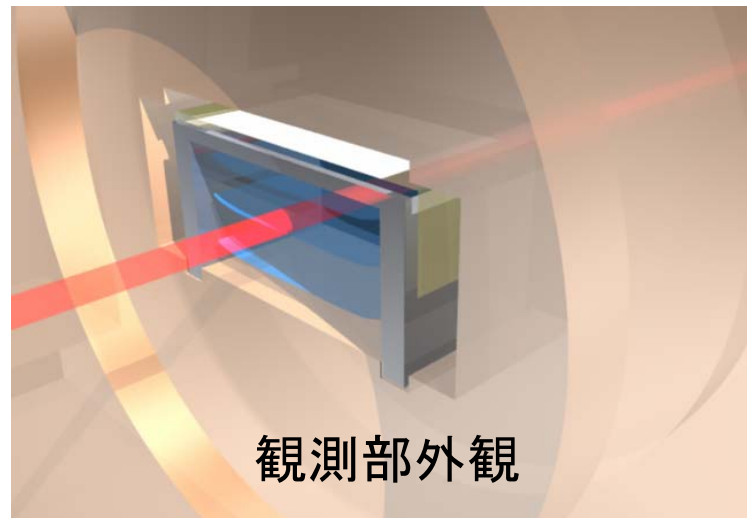
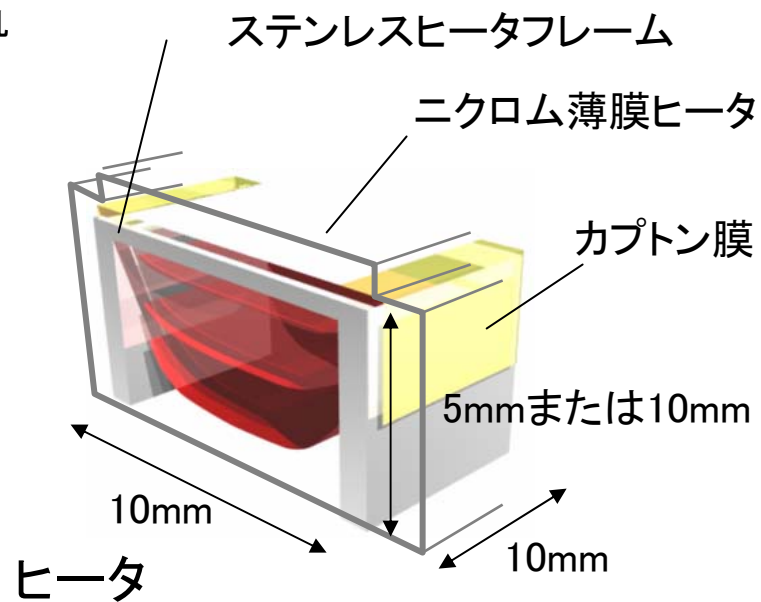
10^3

時間スケール(秒)

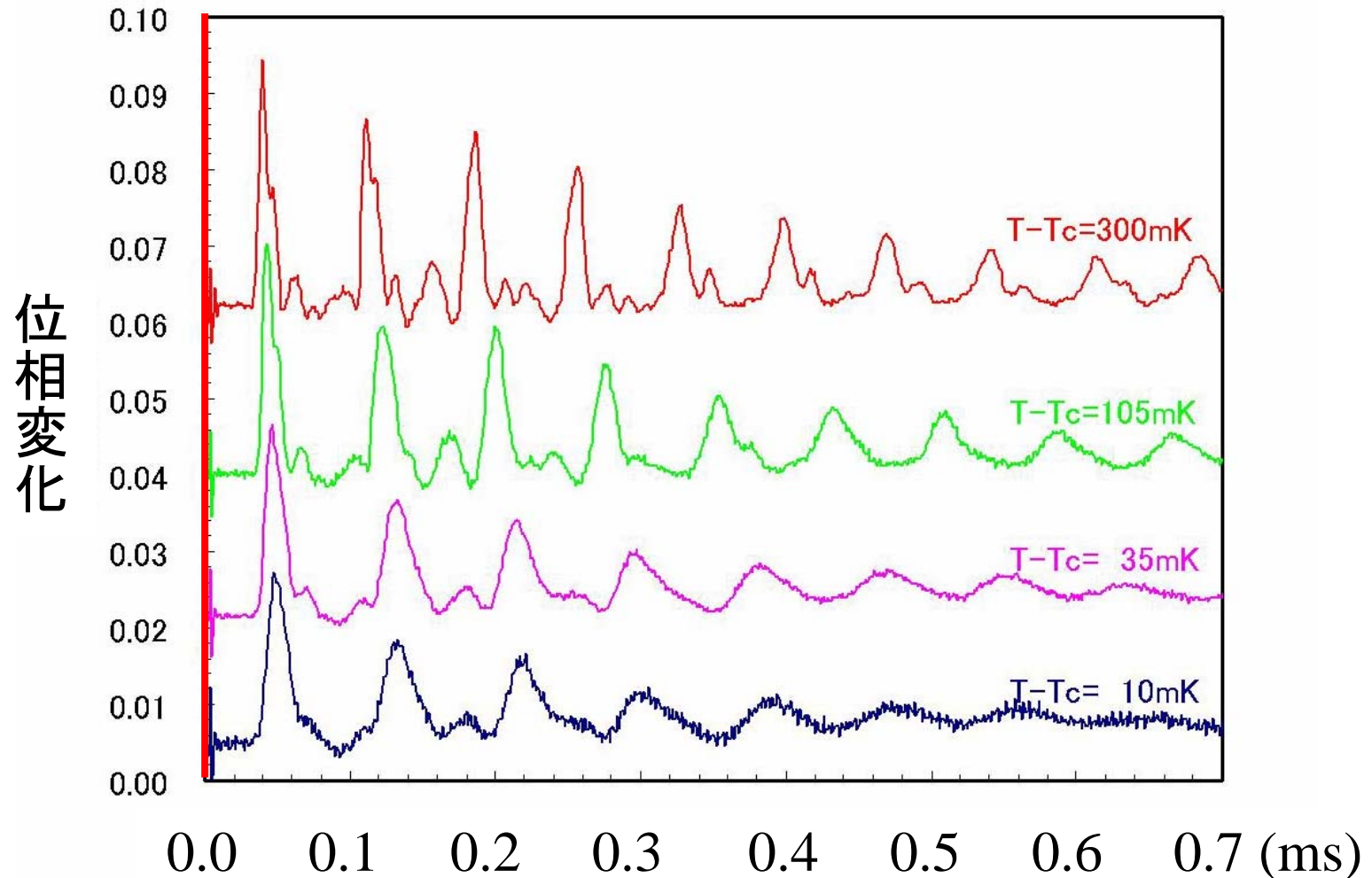
試料セル構造



In製Oリングにより約70気圧で封止

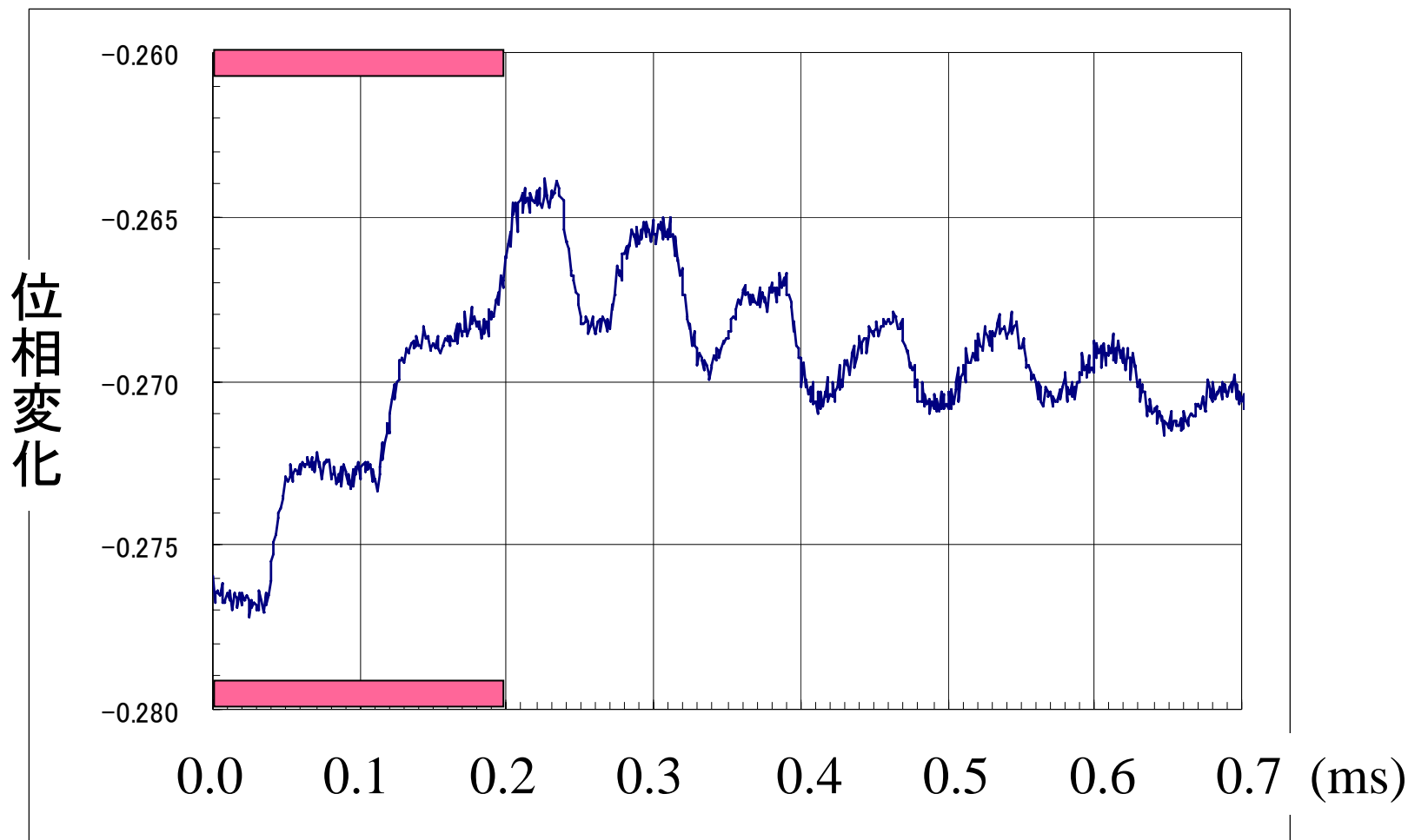


パルス加熱後の密度変動



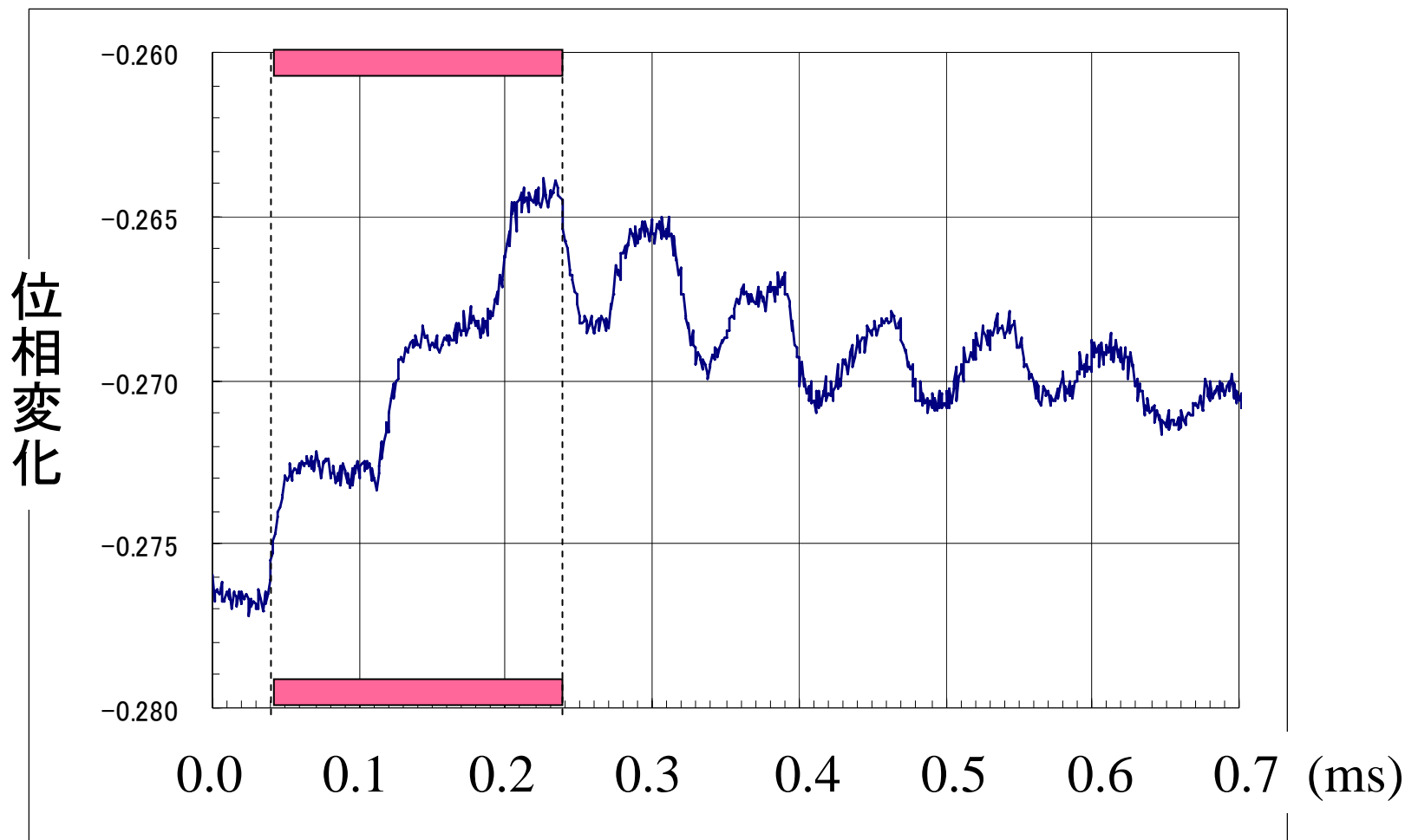
加熱パルス幅 $200 \mu s$

$T = T_c + 100mK$

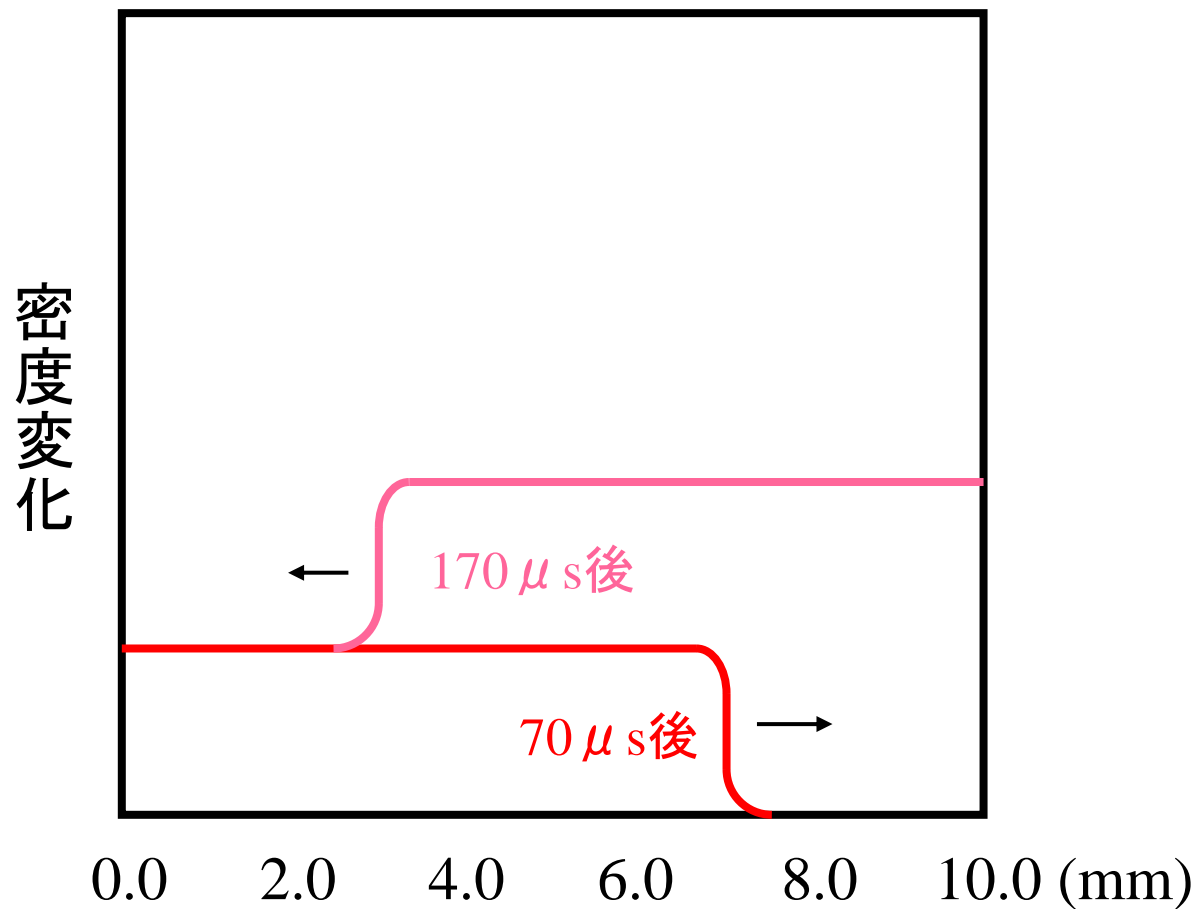


加熱パルス幅 $200 \mu s$

$T = T_c + 100mK$



密度変化の模式図



実験結果

- 1) **直流**加熱実験によってピストン効果に特徴的な**階段状の密度上昇**を観測した
- 2) 階段状の密度上昇は拡散過程では説明できない

ピストン効果

= 臨界流体の高速温度均一化

参考文献

- 「宇宙環境利用のサイエンス」
井口洋夫監修、2000年、裳華房
- 「宇宙実験最前線」
日本マイクログラビティ応用学会編、
1996年、講談社