



# He II中のサブクール膜沸騰モード の分類

- Classification of Film Boiling Modes in Subcooled He II -

*野澤	正和	筑波大学大学院システム情報工学研究科
木村	誠宏	高エネルギー加速器研究機構
村上	正秀	筑波大学大学院システム情報工学研究科
高田	卓	筑波大学大学院システム情報工学研究科

## Background

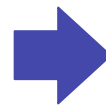
超伝導マグネットの冷却・・・He IIを加圧状態で冷媒として利用  
クエンチの際、サブクール沸騰が発生



・沸騰による熱伝達の理解がマグネットの冷却設計に必要

研究目的: He II中のサブクール沸騰の特徴の理解

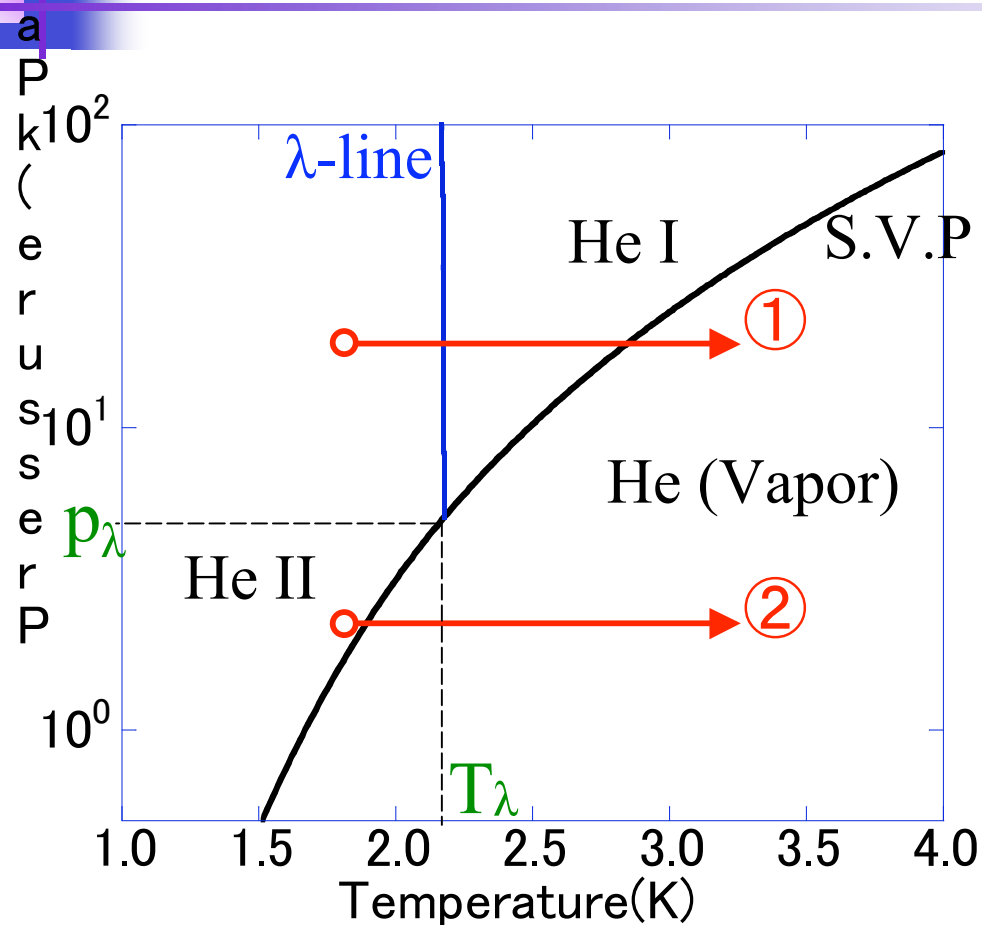
- ・液中の圧力振動の計測
- ・蒸気膜近傍の温度計測
- ・可視化
- ・ヒーター温度の測定



- ・飽和He IIの沸騰との違い
- ・ $p_\lambda$ 近傍での沸騰モードの分類

- ・サブクール領域(10 ~ 30 kPa)での沸騰モードの変化

# Film Boiling in He II



〈He の相図〉

## ① サブクール状態

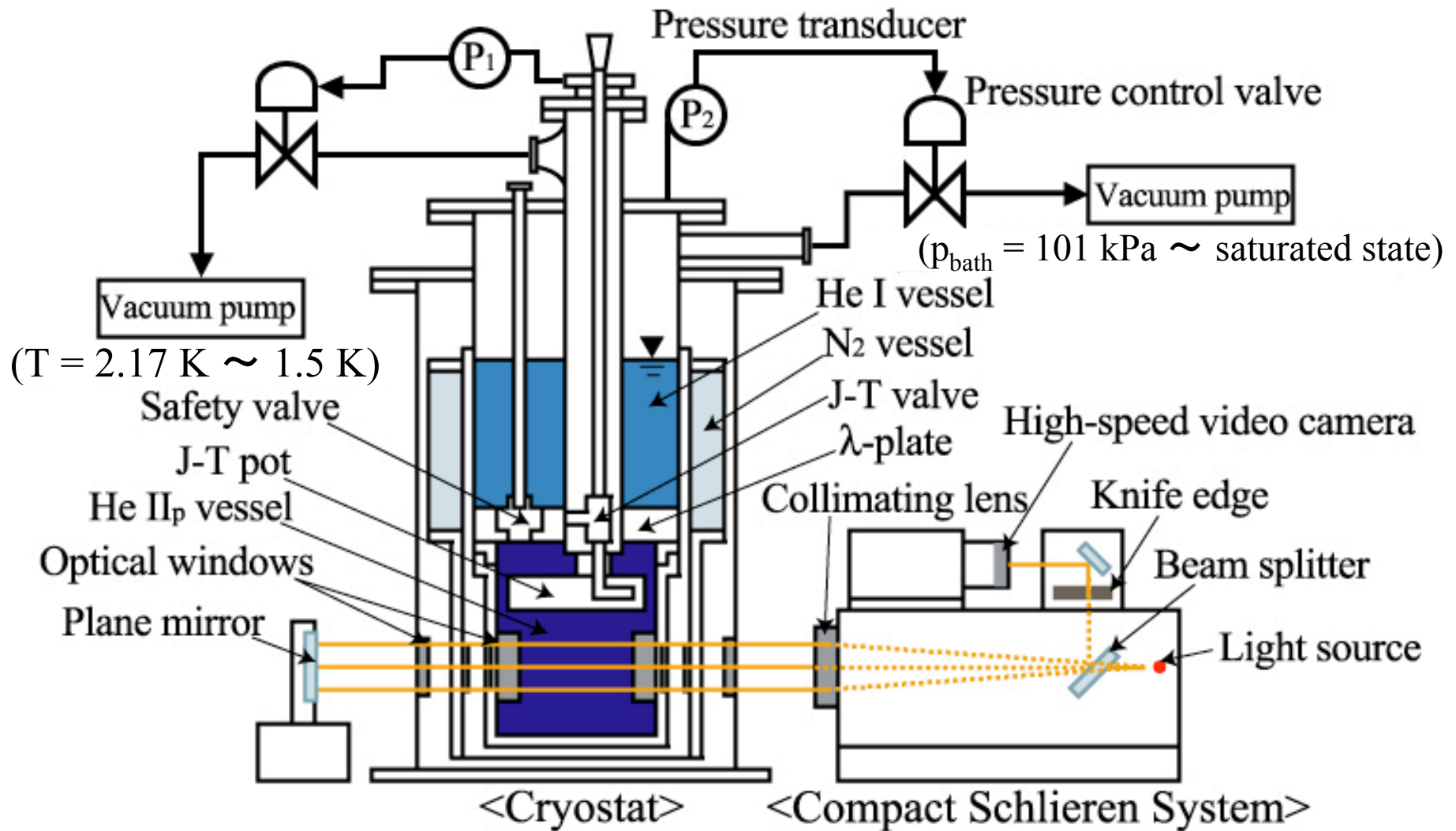
- Bath 圧力  $p_\lambda = 5.04$  kPa 以上で、沸騰により、ヒーター近傍の状態が

$\text{He II} \rightarrow \text{He I} \rightarrow \text{He (Vapor)}$  と変化。

## ② 飽和状態

- ノイジー膜沸騰
- サイレント膜沸騰

# Experimental Apparatus - *Cryostat* -



# Experimental Results - *Visualization Photograph (1)*-

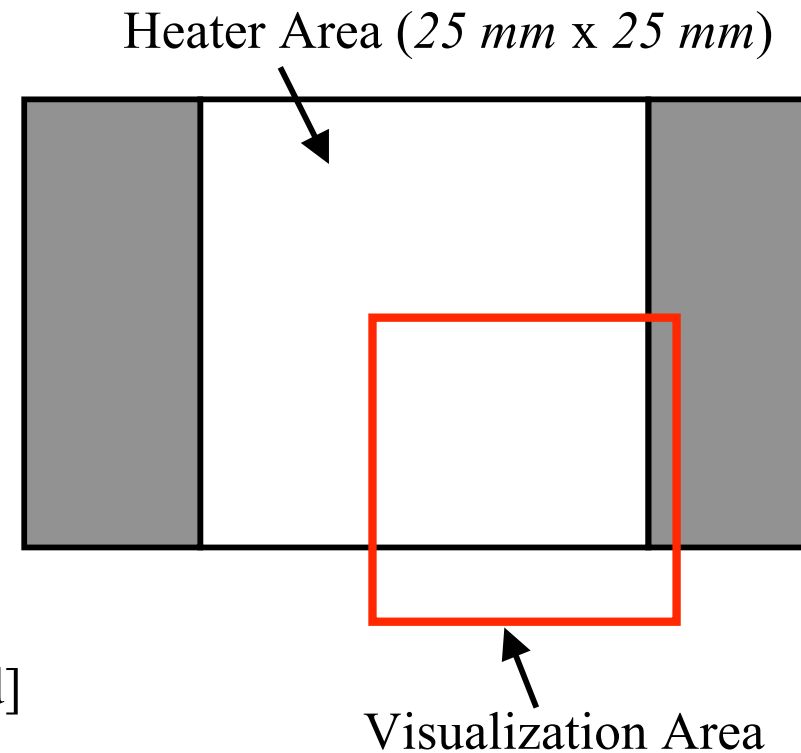


Transparent heater [Shadowgraph method]

$$p = 26.6 \text{ kPa}, T = 1.9 \text{ K}, q = 10 \text{ W/cm}^2$$

<Visualization Photograph>

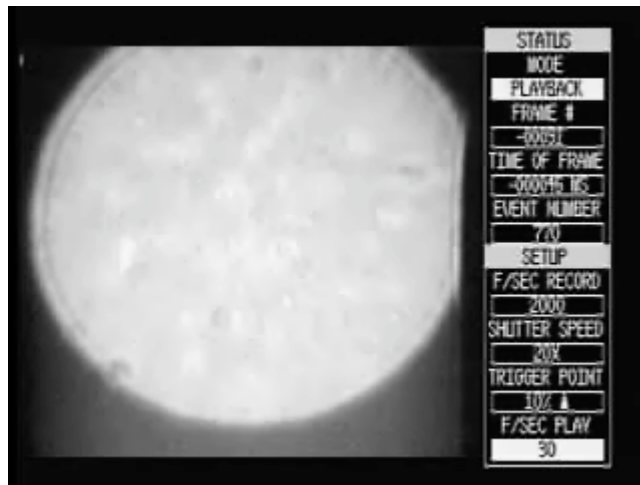
[**Strongly** Subcooled Mode]



<Visualization Area>

[Transparent Heater]

## Experimental Results - *Visualization Photograph* (2)-

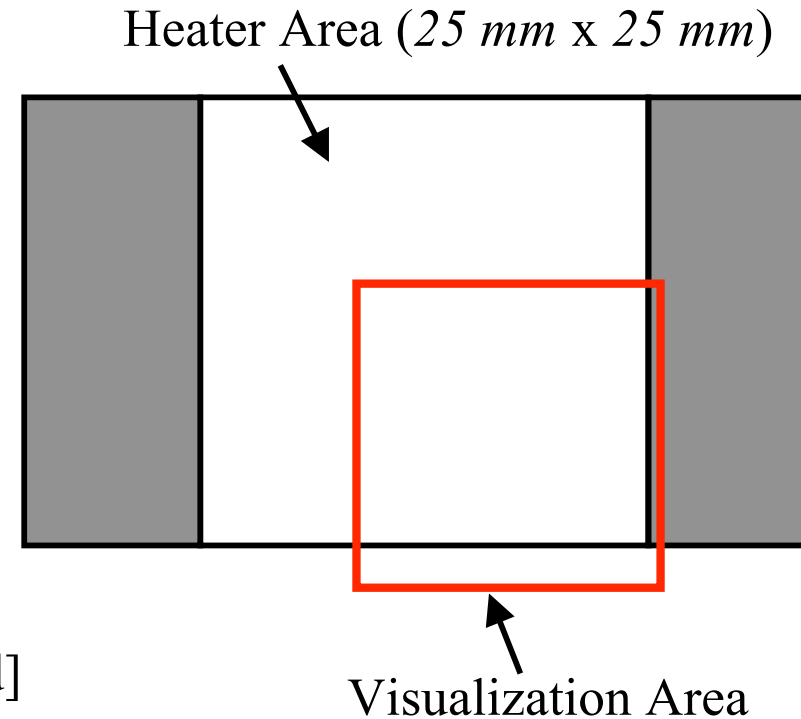


Transparent heater [Shadowgraph method]

$$p = 13.3 \text{ kPa}, T = 1.9 \text{ K}, q = 10 \text{ W/cm}^2$$

<Visualization Photograph>

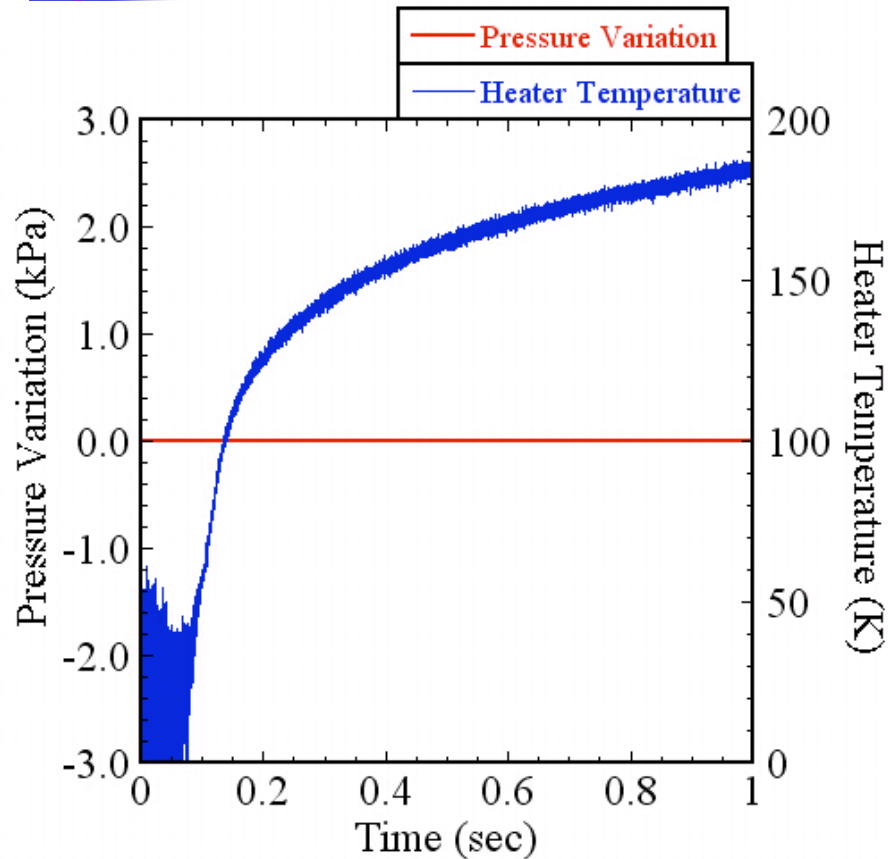
[Weakly Subcooled Mode]



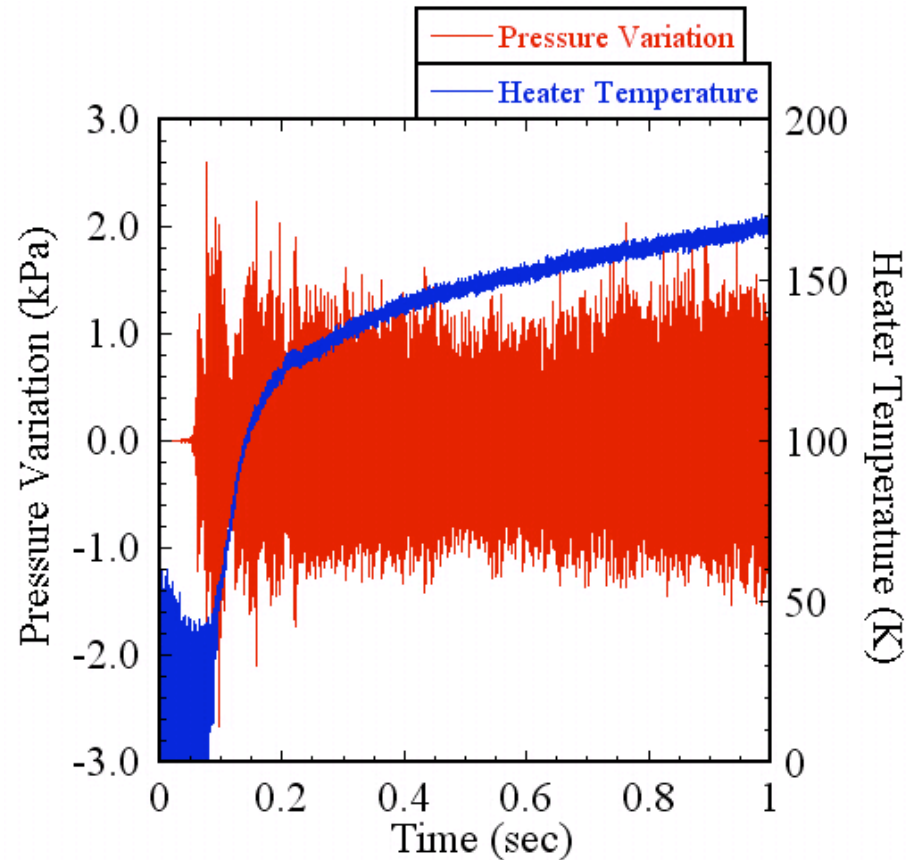
<Visualization Area>

[Transparent Heater]

# Experimental Results - *Heater Temperature* (1) -

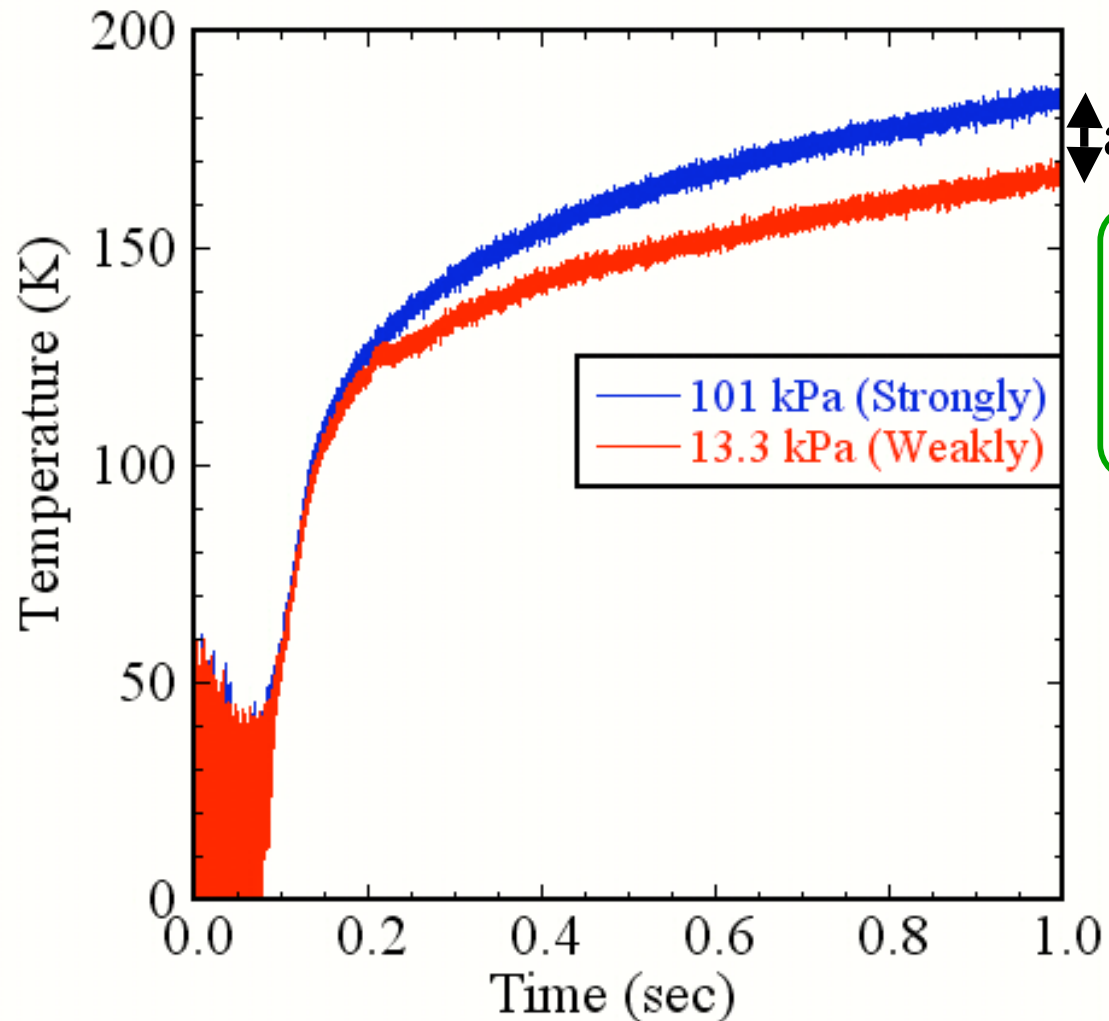


$p = 101 \text{ kPa}$ ,  $T = 1.9 \text{ K}$ ,  $q = 20 \text{ W/cm}^2$   
[Strongly Subcooled Mode]



$p = 13.3 \text{ kPa}$ ,  $T = 1.9 \text{ K}$ ,  $q = 20 \text{ W/cm}^2$   
[Weakly Subcooled Mode]

## Experimental Results - *Heater Temperature* (2) -



about 20 K

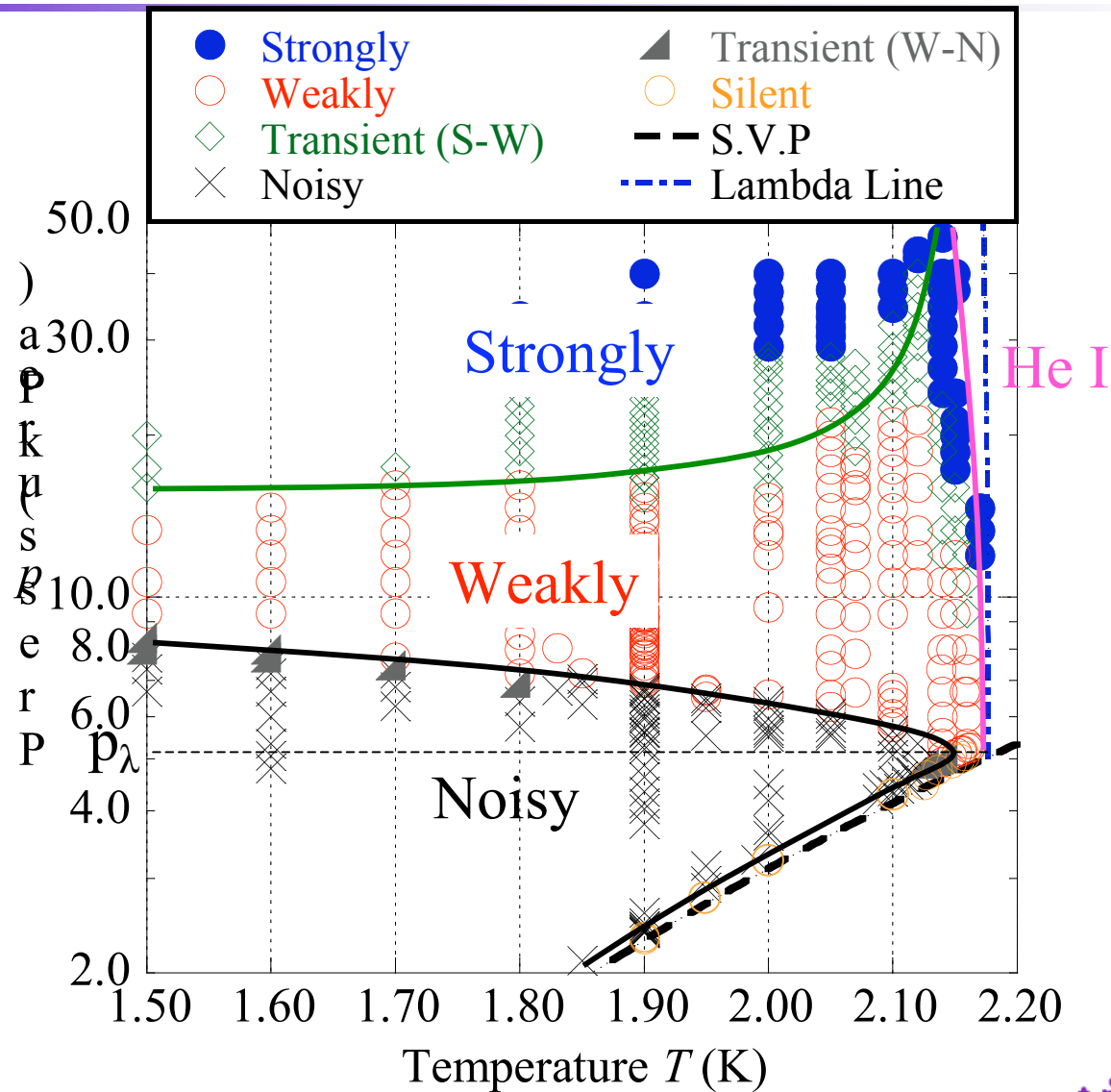
Weakly Subcooledの時のほうが、低いヒーター温度となる。

熱伝達率:  
Strongly < Weakly

Comparison of Heater Temperature.  $T = 1.9 \text{ K}$ ,  $q = 20 \text{ W/cm}^2$

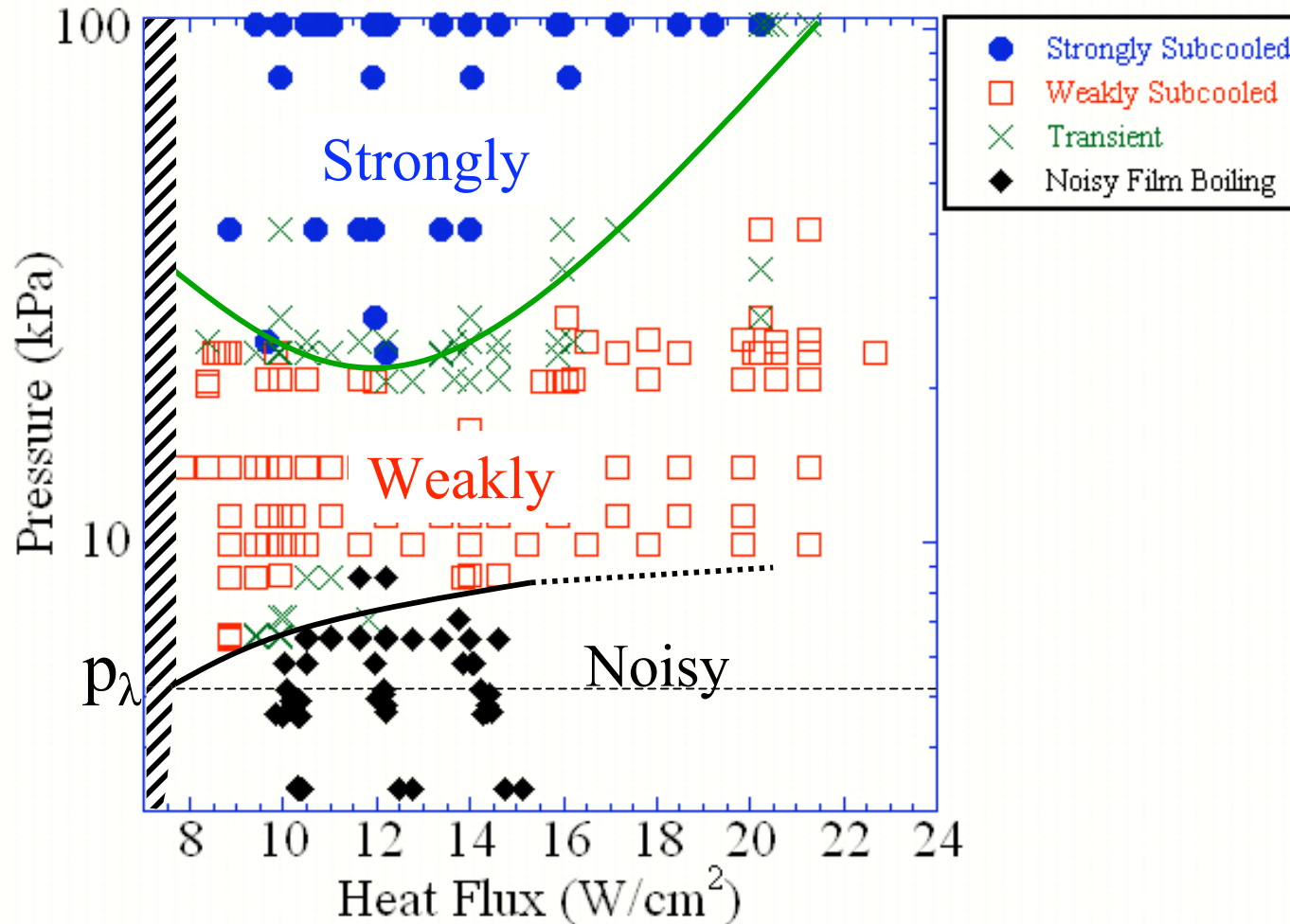


# Experimental Results - $p$ - $T$ diagram -



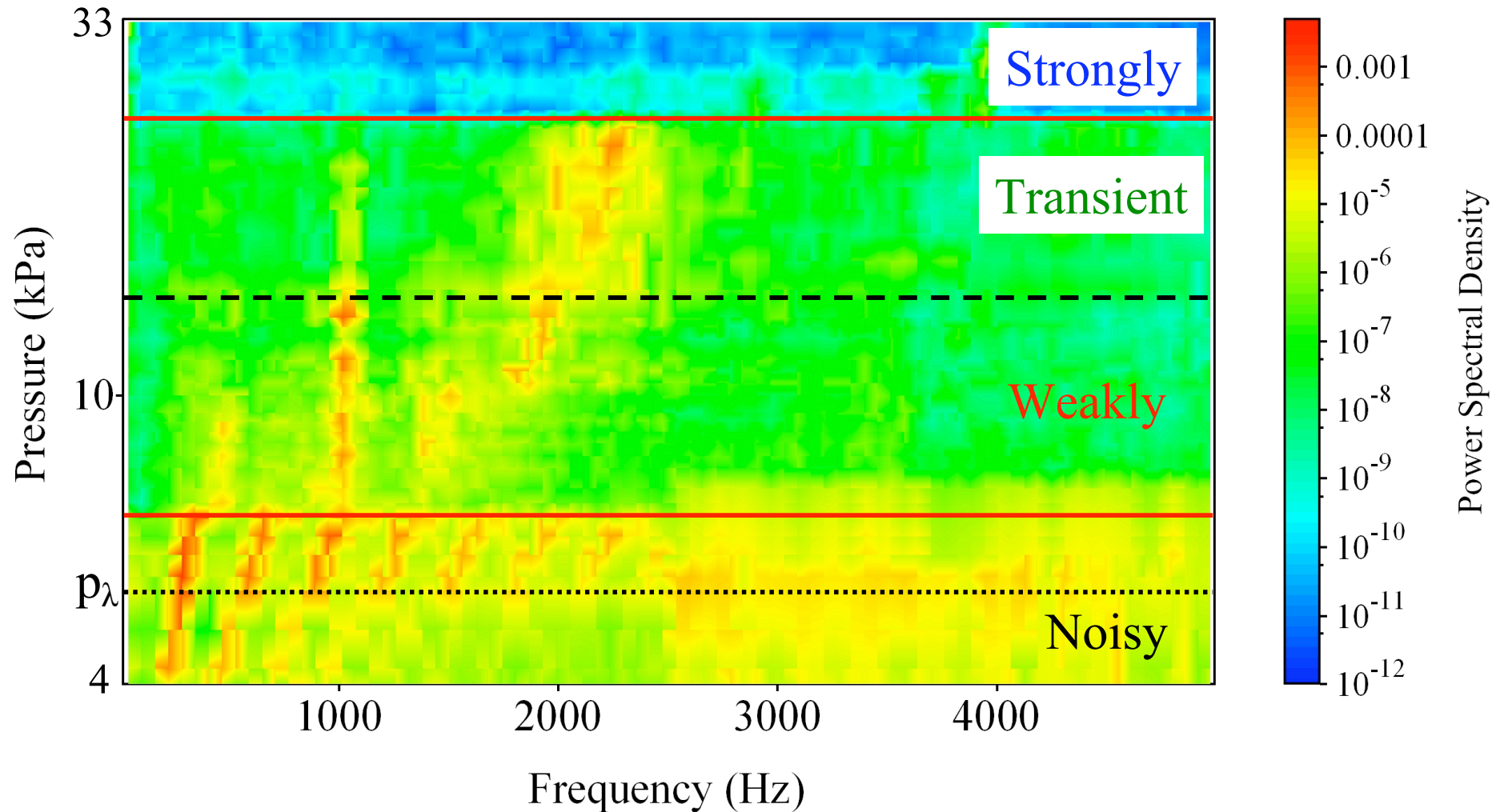
Boiling Modes Map on  $p$ - $T$  diagram.  $q = 15 \text{ W/cm}^2$

# Experimental Results - *p-q diagram* -



Boiling mode map on  $p$ - $q$  diagram  $T = 1.9 K$  (SUS Heater).

# Experimental Results - *FFT analyses* -



Spectrograph of **Pressure** Oscillation.  $T = 1.9 K$

# Summary

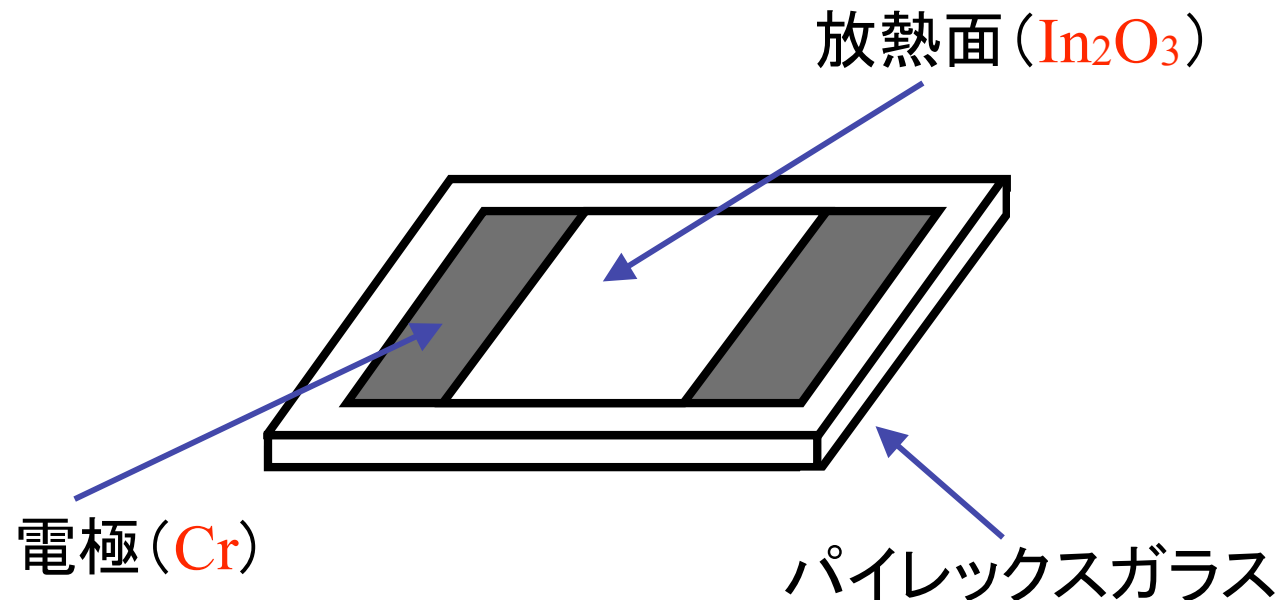
He II中のサブクール領域における、Strongly Subcooled StateからWeakly Subcooled Stateへの沸騰状態の変化を詳細に観測

	Strongly	Weakly
蒸気膜	安定な蒸気膜を形成 比較的穏やかな挙動	蒸気界面で激しく振動
圧力振動	ほとんど検出されず	1 ~ 2 kHzの振動検出
ヒーター温度	同一 $q$ で比較した場合: Strongly > Weakly	熱伝達率: Strongly < Weakly
出現領域 ( $T = 1.9 K$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>約25 kPa以上</li> <li><math>q =</math> 約12 W/cm<sup>2</sup>にて最小の境界値。</li> <li><math>T \uparrow</math>に伴い境界値<math>p</math>上昇傾向</li> <li>Weaklyとの境界には遷移領域が存在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>約8 ~ 20 kPa</li> <li>最小<math>q</math> or <math>\lambda</math>点近傍では下側境界は<math>p_\lambda</math>まで減少。</li> <li><math>q \uparrow</math> or <math>T \downarrow</math>につれて約8 kPaまで上昇→Noisyの発生限界</li> </ul>

## Experimental Apparatus - *Transparent Heater* -

透明ヒーター抵抗: 約  $20 \Omega$   
放熱面面積:  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$

ヒーター面全体の状態を  
観測することが可能。



## Experimental Apparatus - *SUS Heater* -

**SUSヒーター抵抗: 約  $7 \Omega$**   
放熱面面積:  $17.9 \text{ mm} \times 7.1 \text{ mm}$

抵抗変化を利用し、  
ヒーター温度を測定

