

中性子イメージング専門研究会 2013年12月3日

エタノール・活性炭系吸着器の吸脱着過程の可視化

○村田健太, 浅野 等, 齊藤泰司*

神戸大学大学院工学研究科
京都大学原子炉実験所*

研究背景

近年、エネルギー問題が深刻となっている

- ・地球温暖化
- ・化石燃料の枯渇

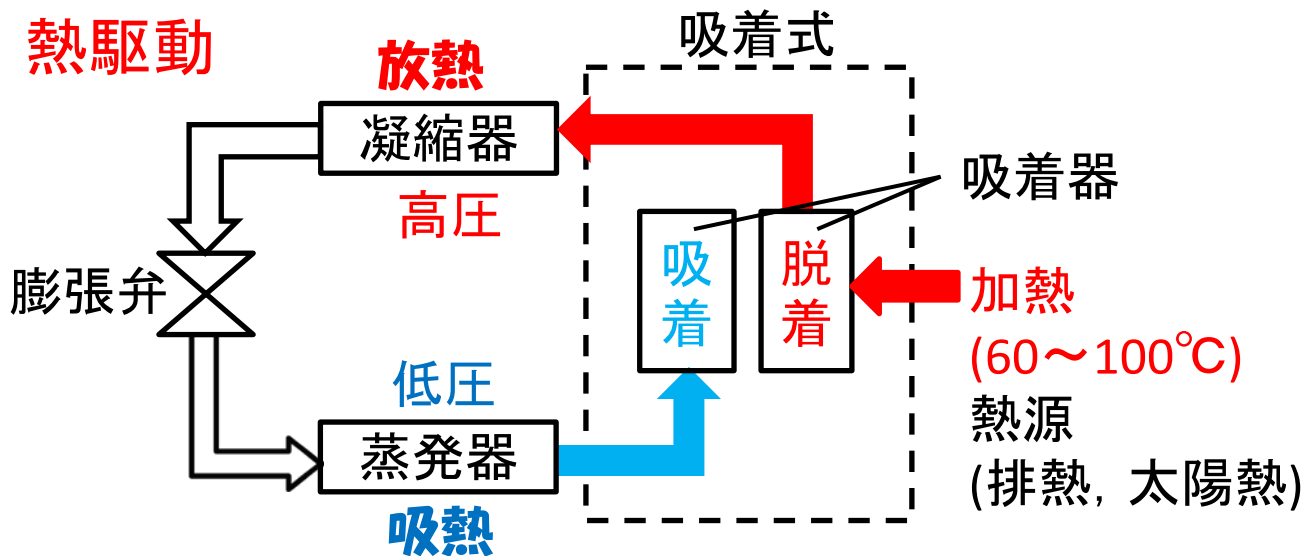
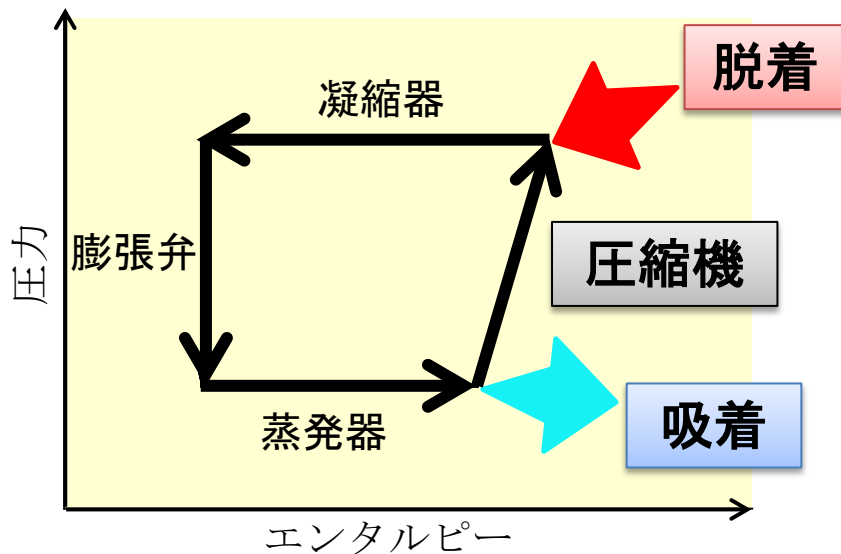
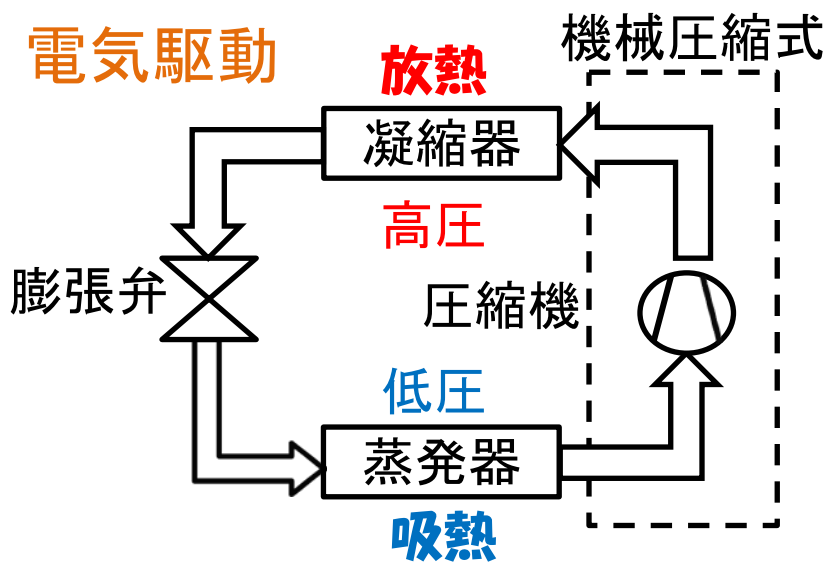
そこで、エネルギーの有効利用が求められている。

コージェネレーションシステムでは排熱の利用促進によるエネルギー利用効率の向上が求められている

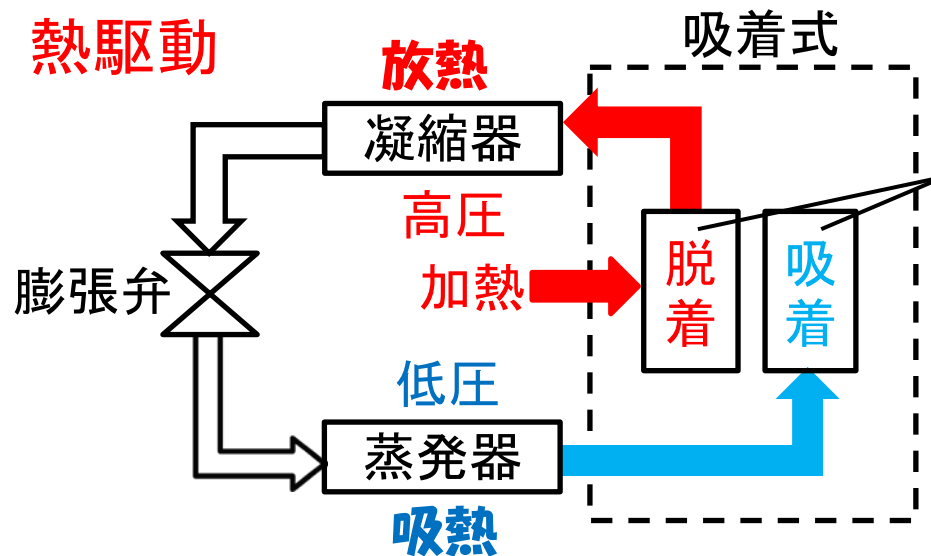
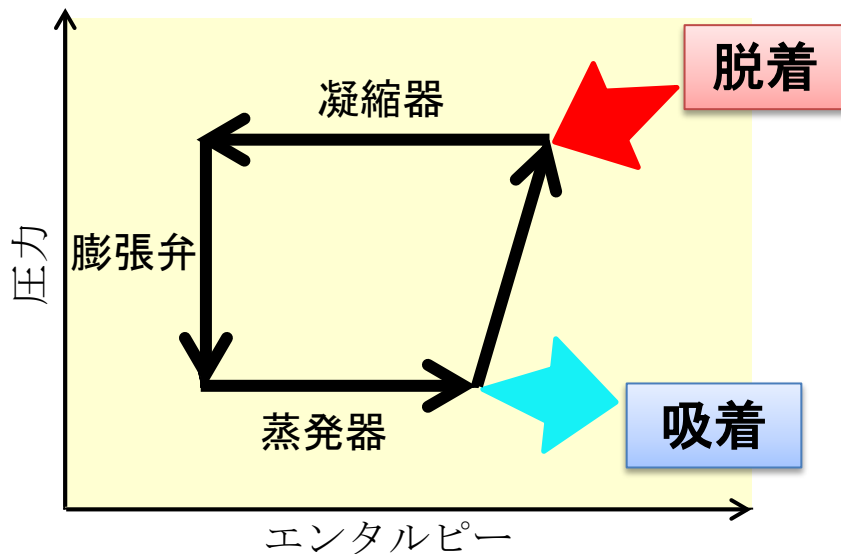
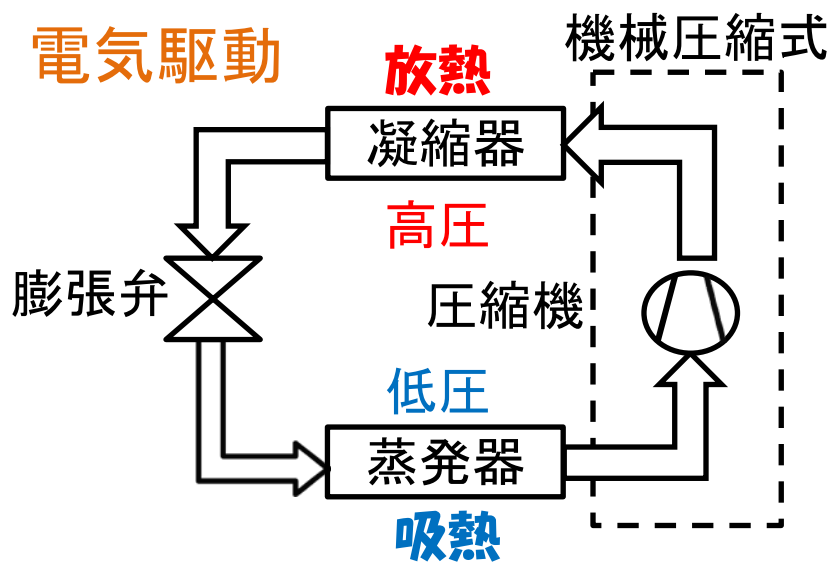
熱駆動ヒートポンプとして、

低温熱源で動作可能な“吸着式ヒートポンプシステム”が注目されている

吸着式ヒートポンプとは



吸着式ヒートポンプとは



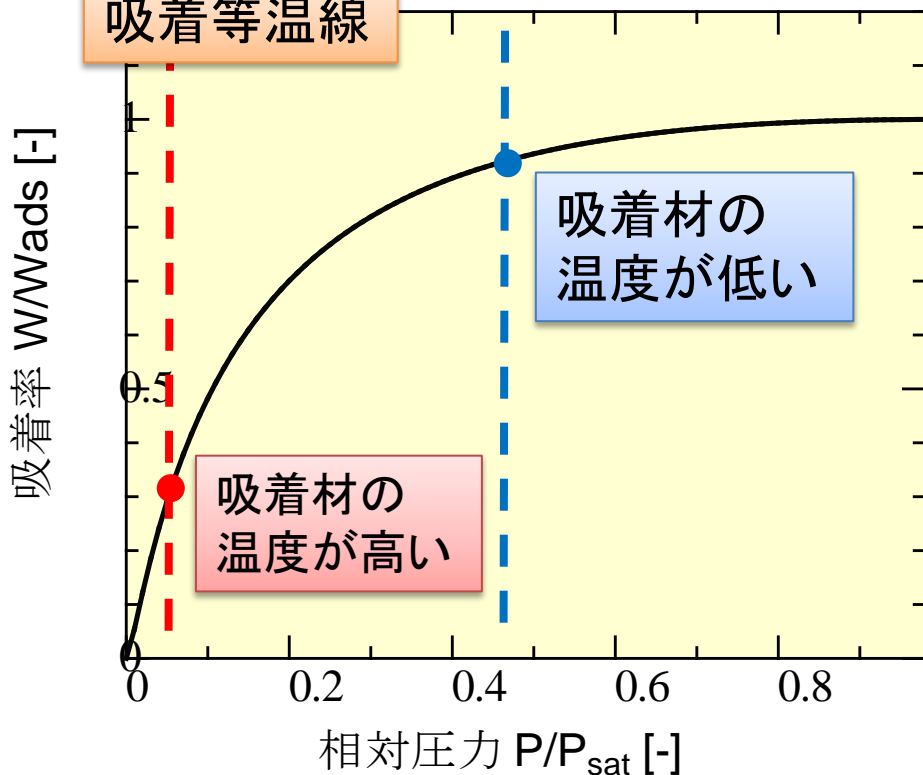
一定時間ごとに
吸着, 脱着を切り替える
バッチ運転

吸着現象

吸着とは・・・

物質が界面に濃縮される現象. 吸着時に吸着熱を発生する

吸着等温線



温度が上がると吸着量が小さくなる

$$\text{吸着率} = \frac{W:\text{吸着量}}{W_{ads}:\text{吸着材の質量}}$$

$$\text{相対圧力} = \frac{P:\text{吸着材まわりの圧力}}{P_{sat}:\text{吸着材の温度に対する冷媒の飽和圧力}}$$

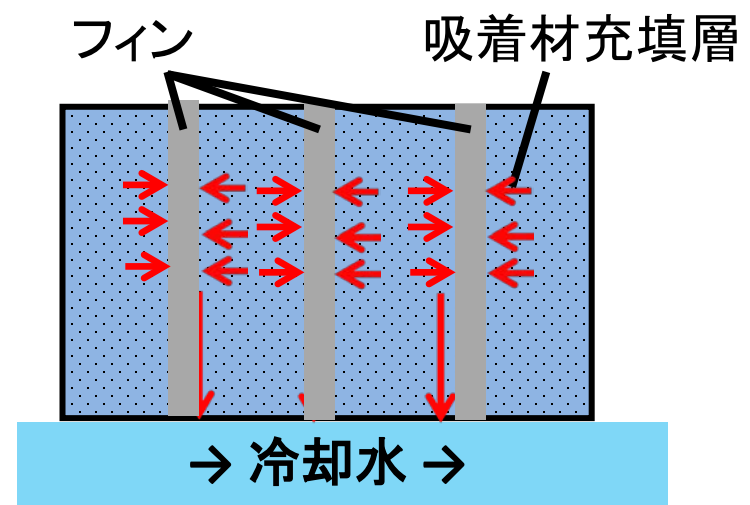
吸着時に発生する吸着熱によって
吸着量の低下



吸着時における
吸着材充填層の熱拡散が課題



吸着材充填層内の熱移動



問題

・吸着材は粒子層であるので、熱拡散は悪い



冷媒の吸脱着速度を高めるために
フィンを設置することで、吸着材充填層の熱拡散向上



バッチ運転時に、吸着材 + フィンの顕熱がロス

過渡変化時の吸着量分布を考慮した伝熱面形状の設計が必要

吸着材と冷媒の組み合わせ

吸着材	冷媒
シリカゲル	水
シリカゲル	エタノール
ゼオライト	水
活性炭	エタノール

中性子ラジオグラフィによる可視化実験
Asano, et al., NIM-A, 542, pp.241-247(2005)
Asano, et al., J.Chem.Eng. of Japan,
40(13), 1292-1297(2007)

本研究の可視化対象

C, SiO₂など

C₂H₅OH, H₂Oなど



透過しやすい

中性子線
に対して



減衰しやすい

吸着器内の吸着量分布を把握には
中性子ラジオグラフィが有効

研究目的

エタノール・活性炭を用いた吸着器における
吸脱着プロセスでの吸着量分布の過渡変化を
中性子ラジオグラフィによって可視化, 計測する.
フィンが及ぼす影響を評価した

実験内容

- ①エタノールの減衰特性の評価
 - ・厚さの異なる容器を用いてエタノールの減衰係数を計測した.
- ②吸脱着過程の可視化
 - 対象: フィンを設置した吸着材充填層

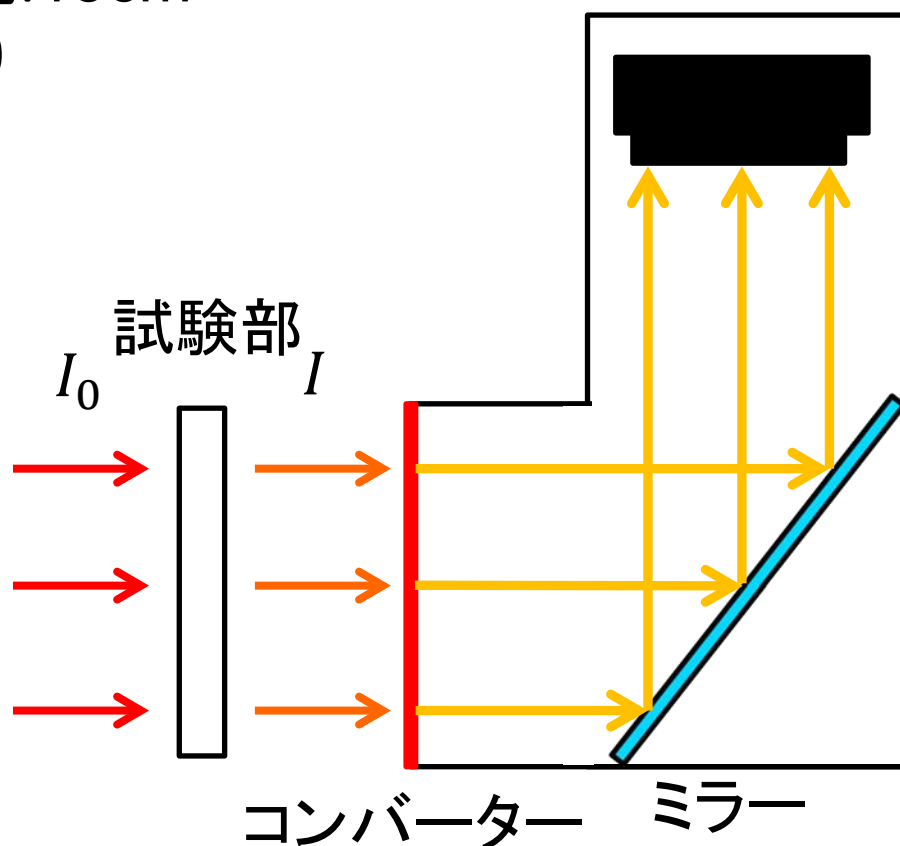
中性子ラジオグラフィシステム

京都大学研究用原子炉

E-2port (1MW運転)

ビーム孔: 15cm

L/D=100



冷却型CCDカメラ

(BU-532N

4008×2672pixel, 16bit)

分解能: 約42 μ m

エタノールの減衰特性

画像輝度: S


$$S = GI_0 \exp(-\rho_{wall}\mu_m wall t_{wall} - \rho_r\mu_m r t_r) + 0$$

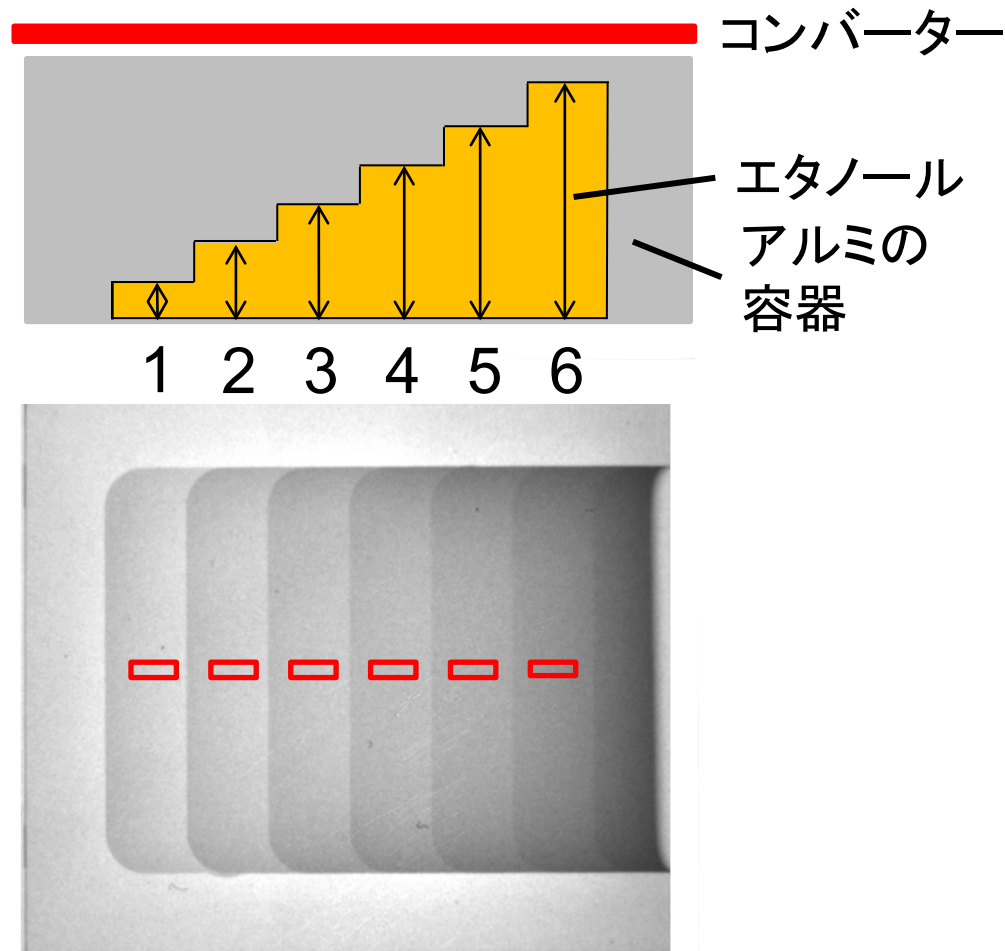
wall: アルミ容器

r: エタノール

露光時間: 300s

エタノール温度: 25.2°C

 : 70×24pixel



エタノールの減衰特性

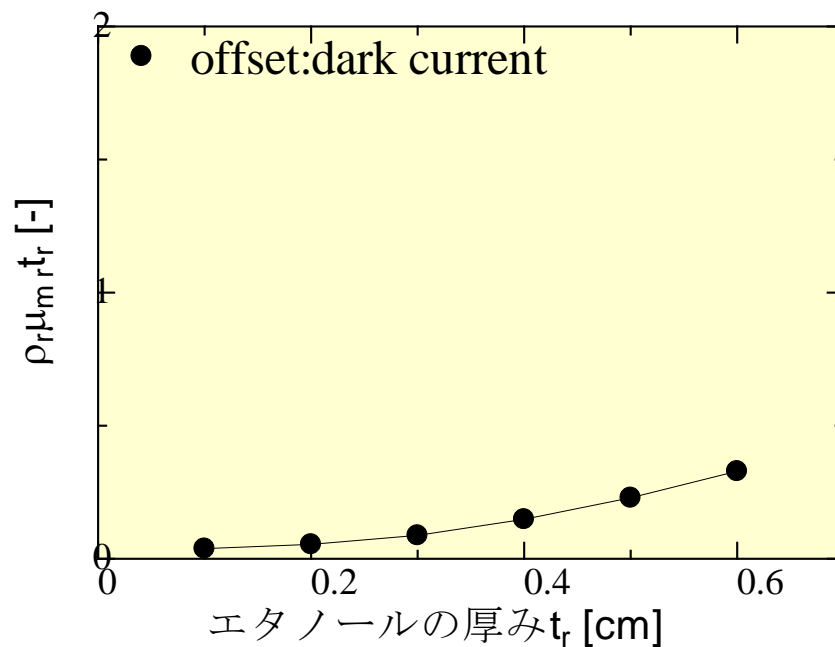
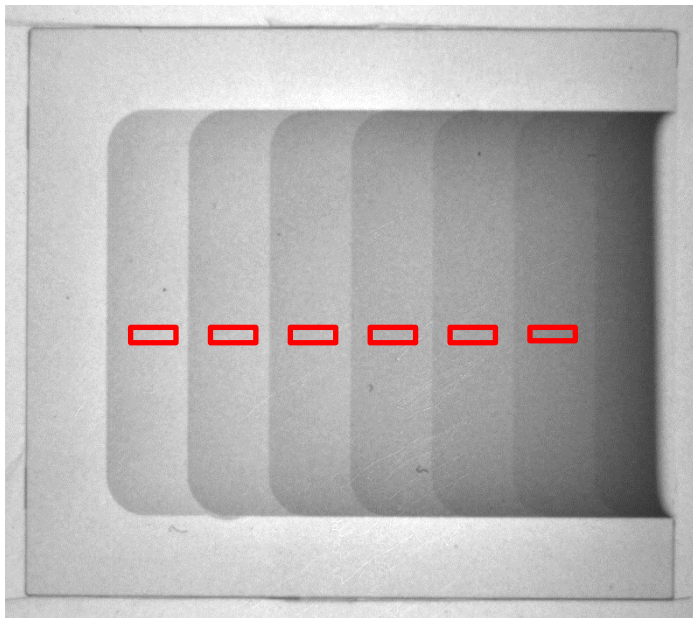
画像輝度: S

$$S = GI_0 \exp\left(\underbrace{-\rho_{wall}\mu_m t_{wall}}_{\text{アルミ容器}} - \underbrace{\rho_r\mu_m t_r}_{\text{エタノール}}\right) + \underbrace{0}_{\text{暗電流}}$$

露光時間: 300s

エタノール温度: 25.2°C

□ : 70×24pixel



エタノールの減衰特性

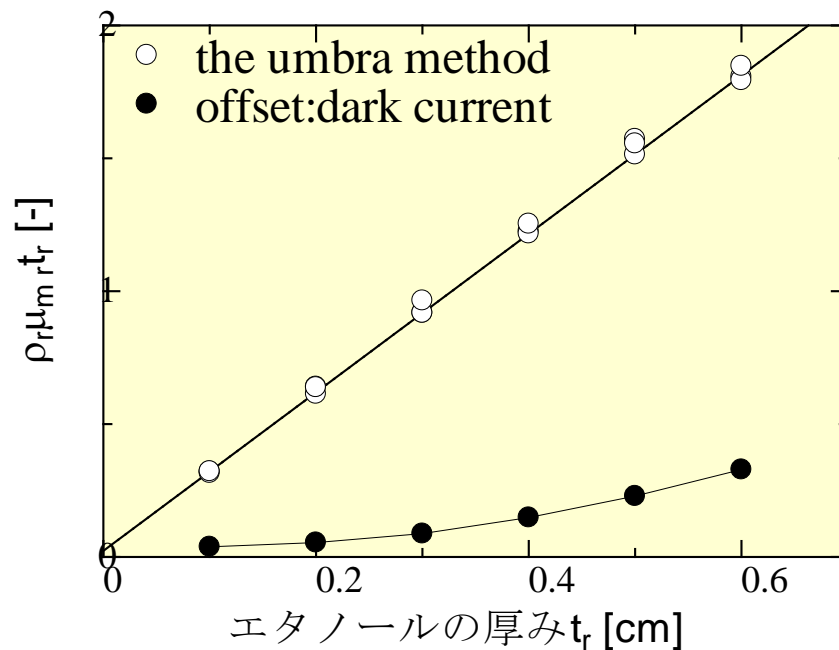
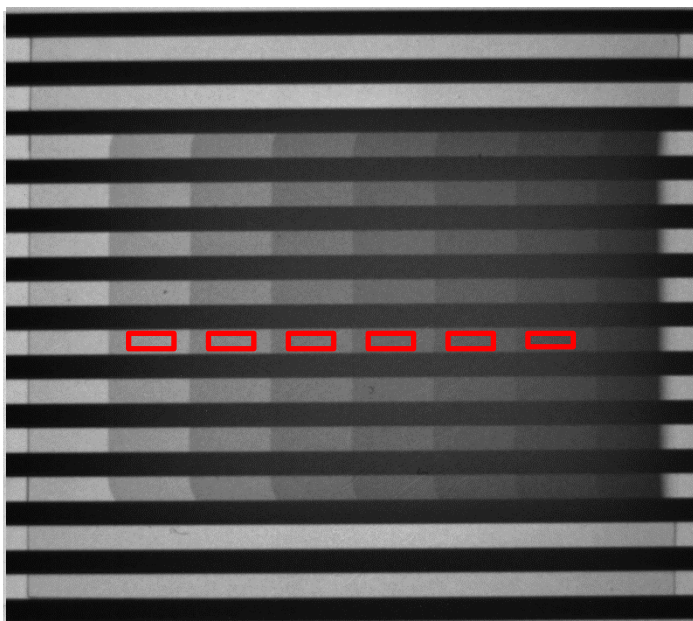
画像輝度: S

$$S = GI_0 \exp\left(\underbrace{-\rho_{wall}\mu_m t_{wall}}_{\text{アルミ容器}} - \underbrace{\rho_r\mu_m t_r}_{\text{エタノール}}\right) + \underbrace{0}_{\text{真影部の輝度}}$$

露光時間: 300s

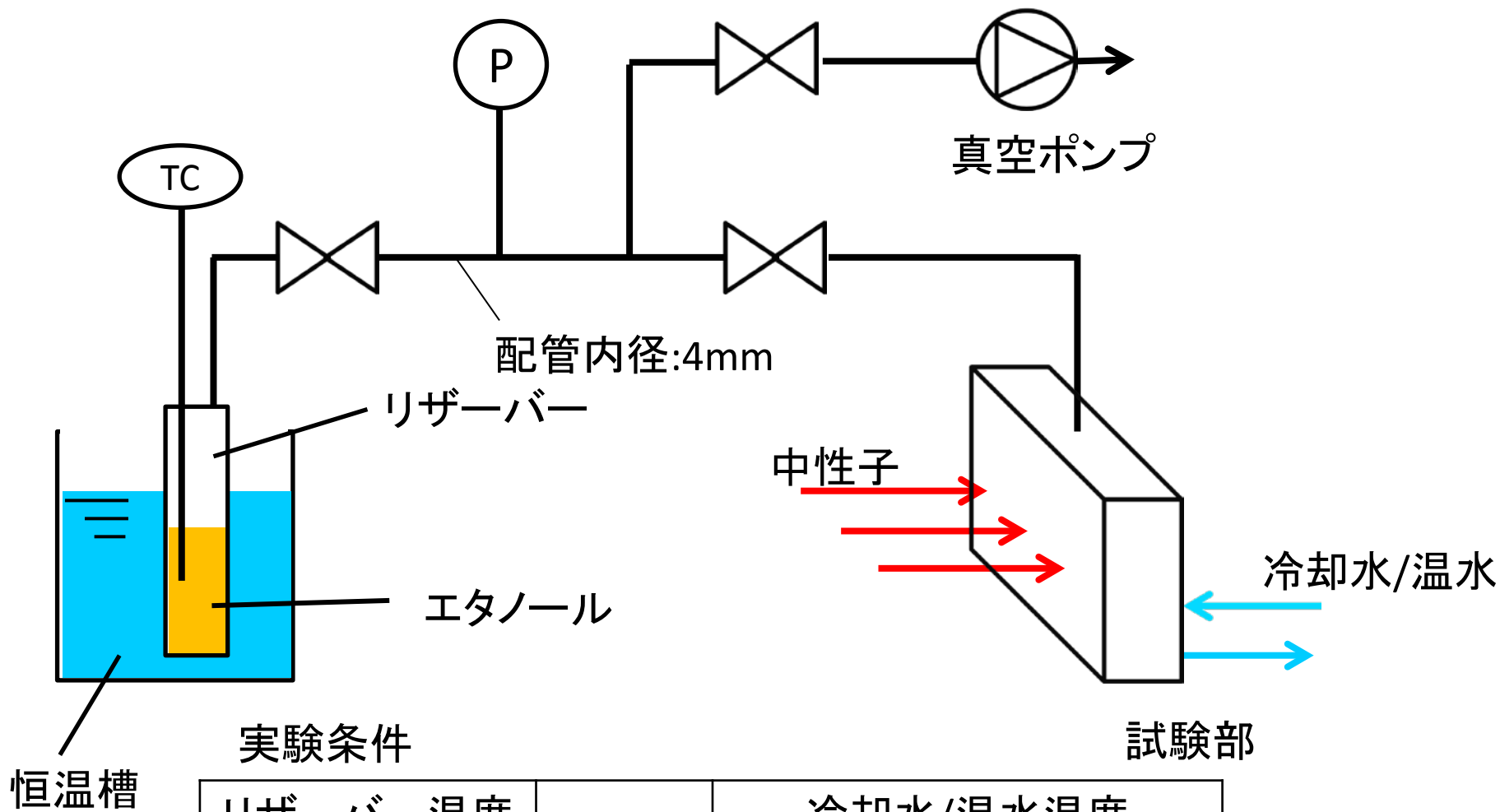
エタノール温度: 25.2°C

□ : 70×24pixel



質量減衰係数: $\mu_{m r} \cong 3.898 \text{ cm}^2 / \text{g}$

吸脱着過程の実験装置

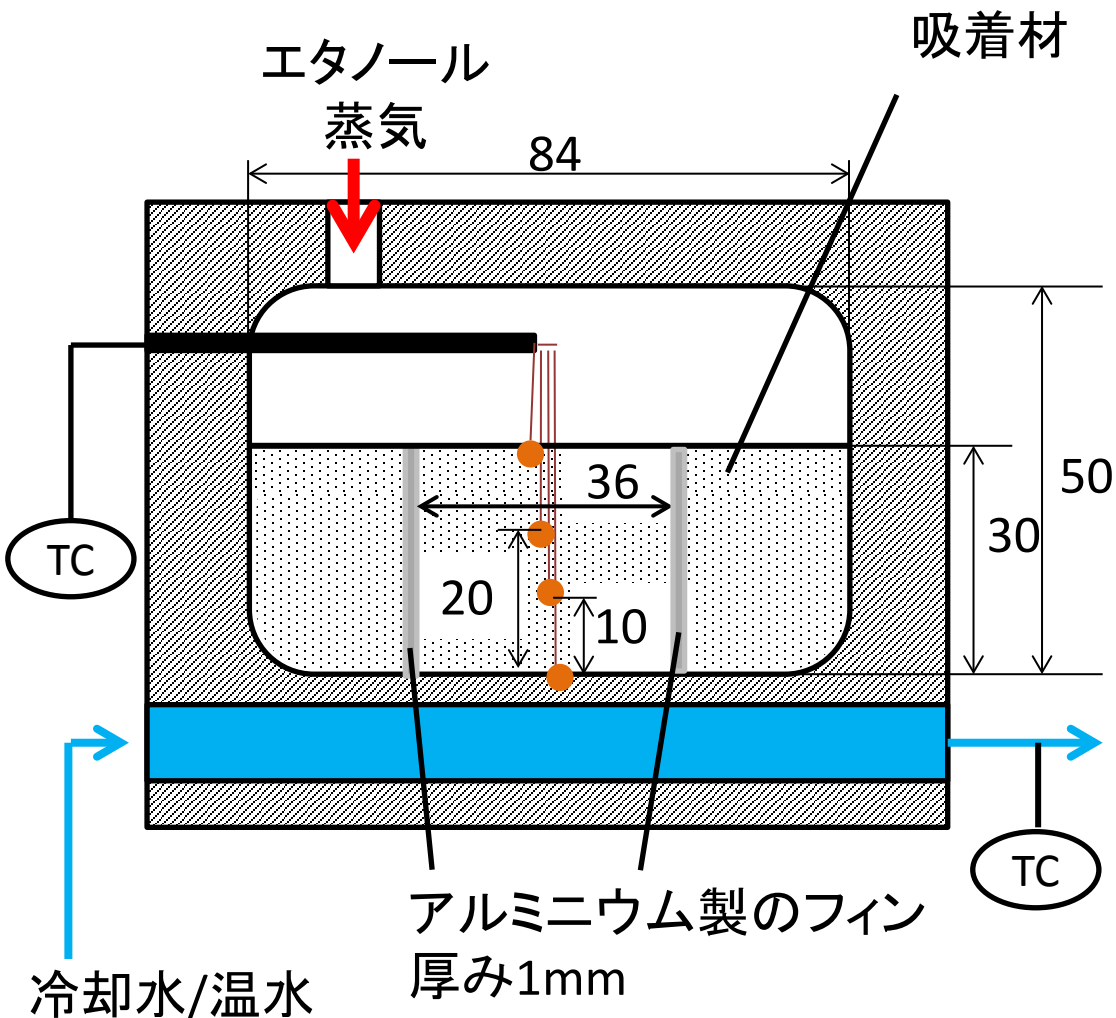


リザーバー温度		冷却水/温水温度
10°C	吸着	20 ~ 30°C
20°C	脱着	80°C

試験部と吸着材

試験部材質:純アルミ

試験部厚み:20mm



吸着材

MCエバテック

高性能多孔質カーボン

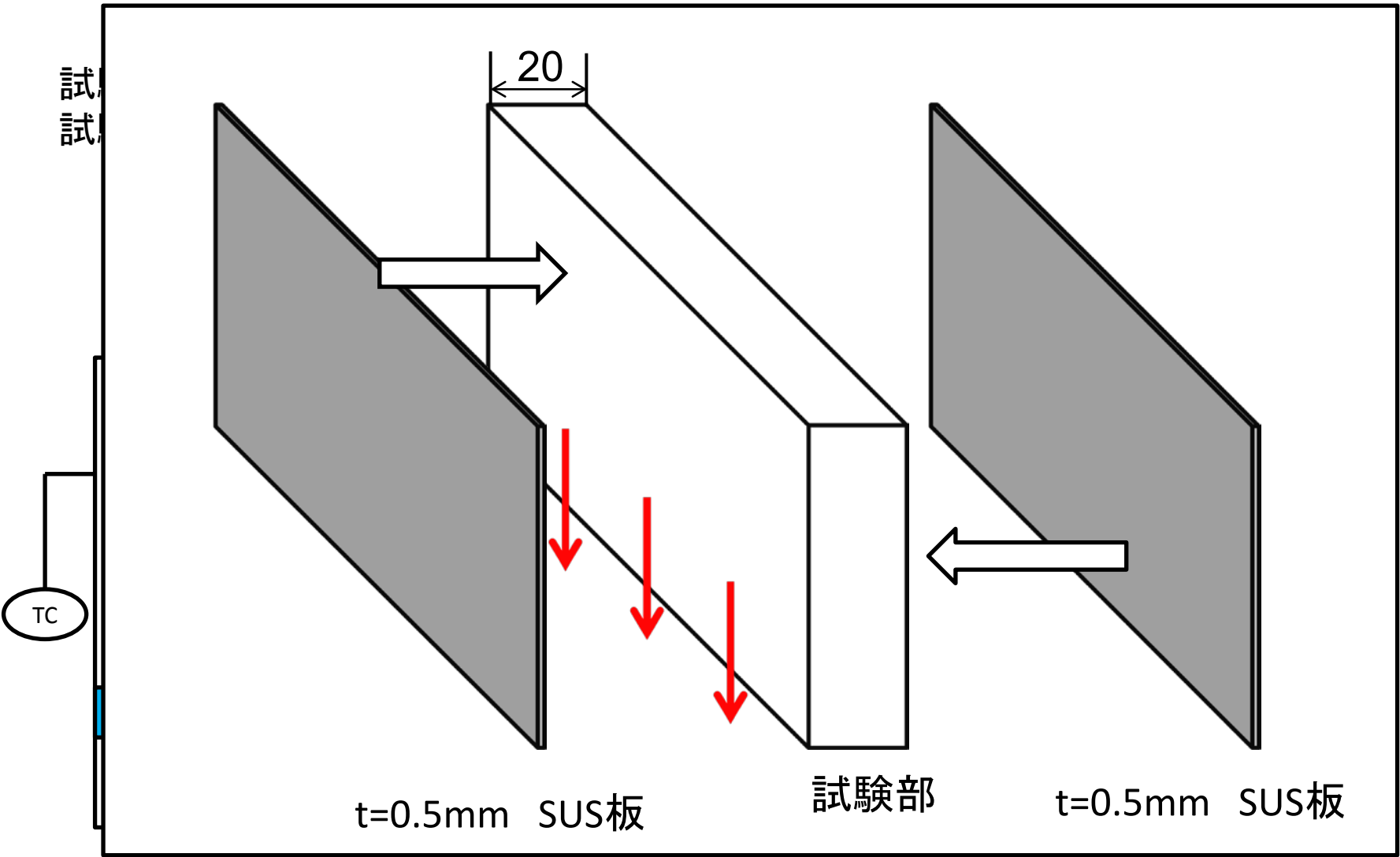
(マックスソープ®)MSC-30(一般品)



比表面積(m ² /g)	3170
平均粒子径(μm)	86

見かけ密度:260 kg/m³

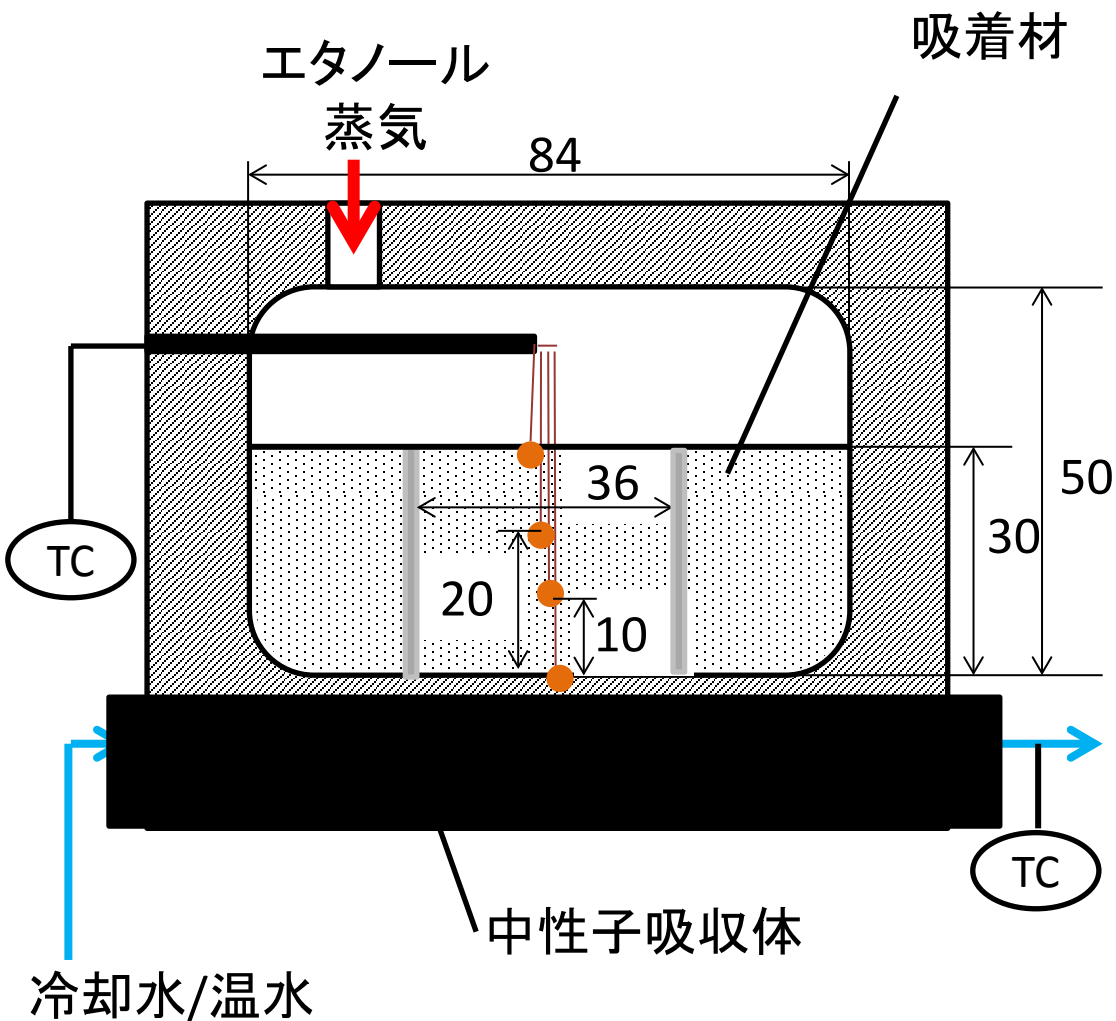
試験部と吸着材



試験部と吸着材

試験部材質:純アルミ

試験部厚み:20mm



吸着材

MCエバテック

高性能多孔質カーボン

(マックスソープ®)MSC-30(一般品)



比表面積(m ² /g)	3170
平均粒子径(μm)	86

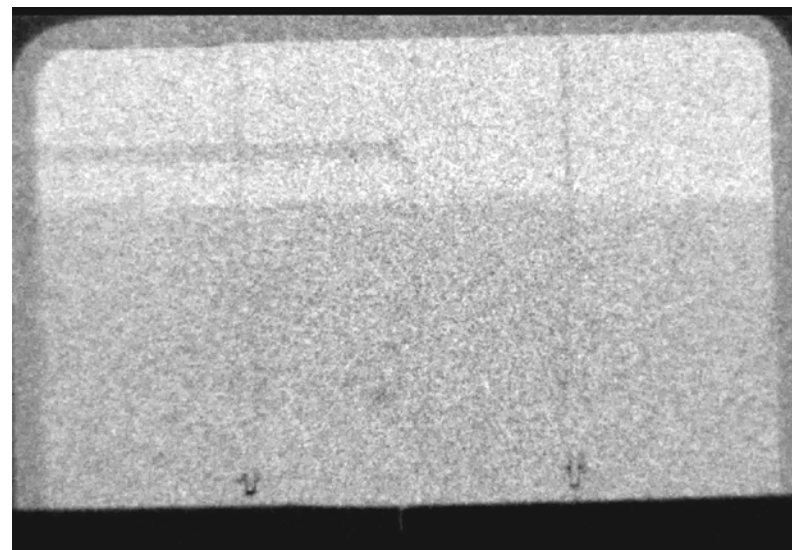
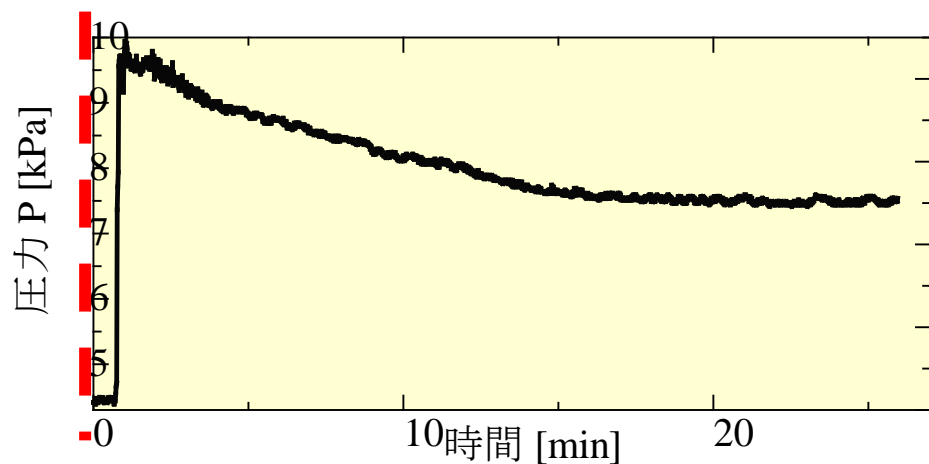
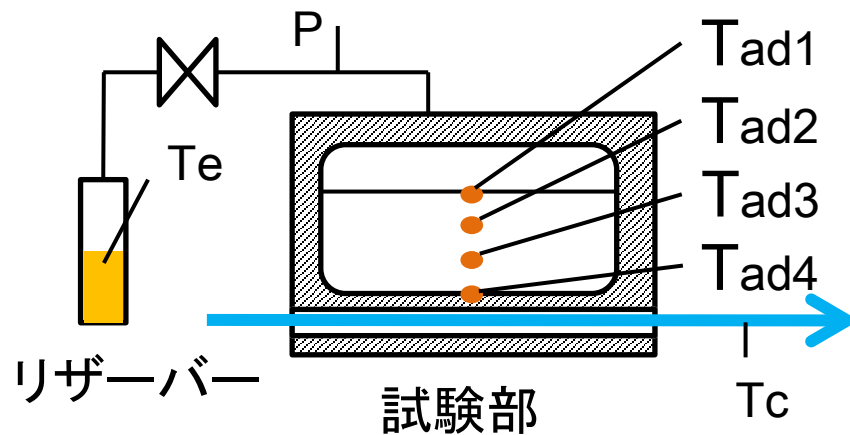
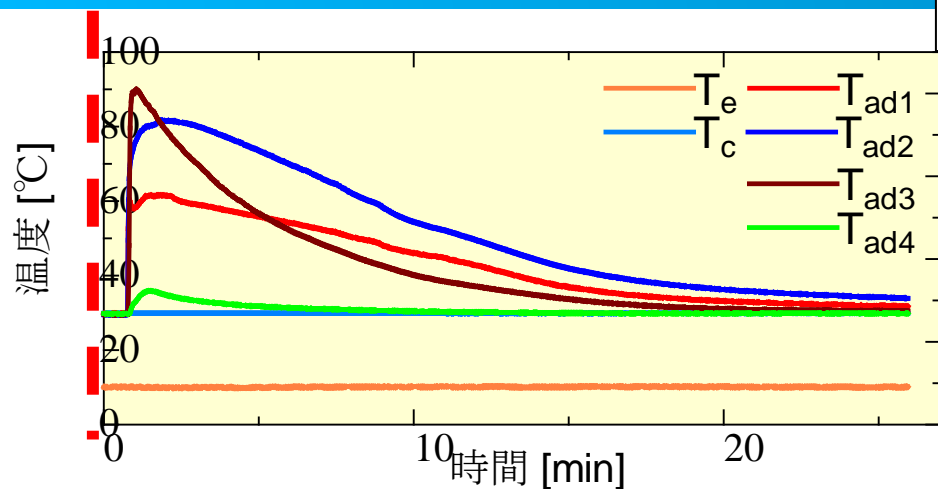
見かけ密度:260 kg/m³

吸着過程

実験条件

冷却水温度:30°C

リザーバー温度:10°C



露光時間:30s ,撮影間隔:40s

ダイナミックレンジ:230(=吸着前1800-平衡時1570)

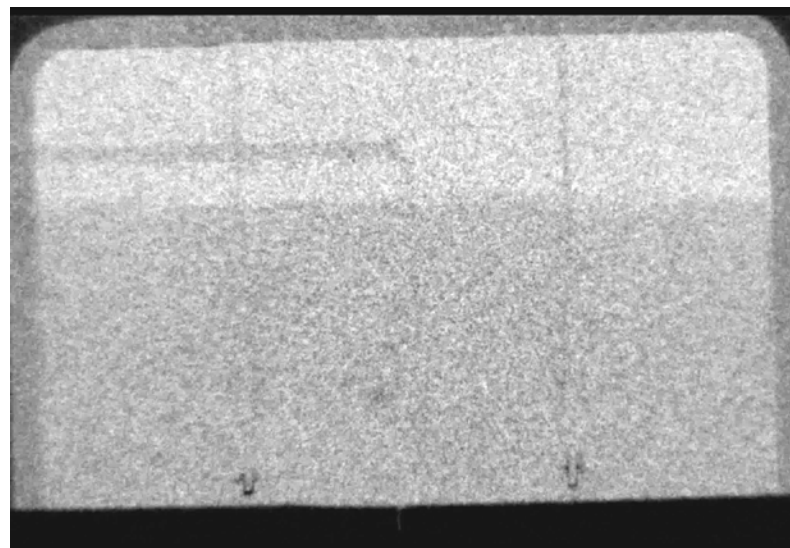
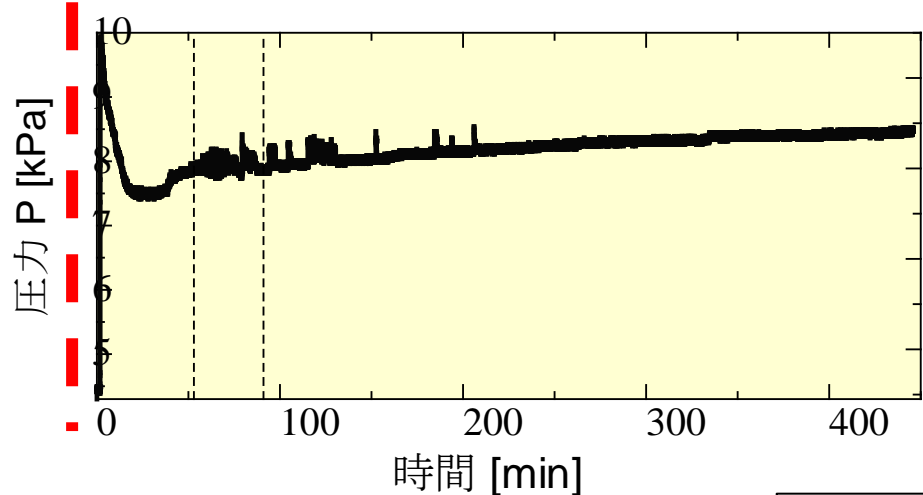
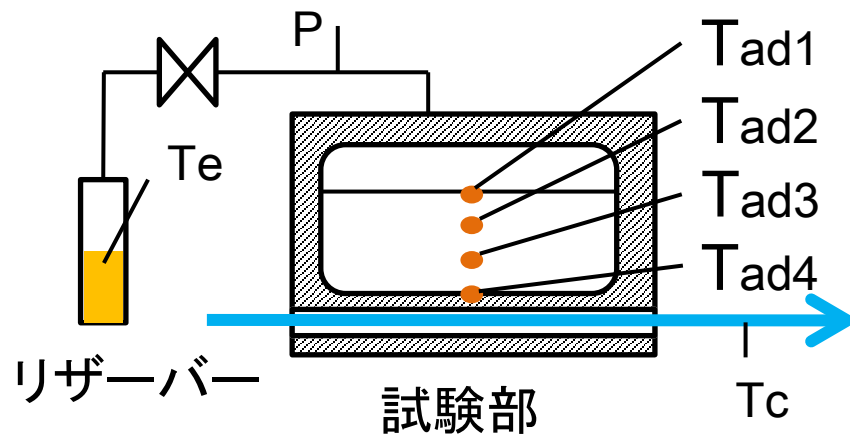
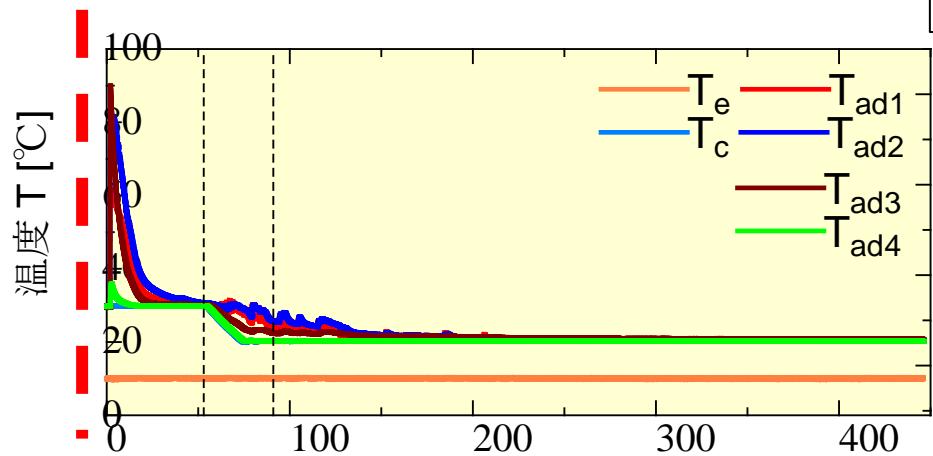
再生レート:3fps

吸着過程

実験条件

冷却水温度:20~30°C

リザーバー温度:10°C



露光時間:30s , 撮影間隔:40s or 120s

ダイナミックレンジ:230(=吸着前1800-平衡時1570)

再生レート:20fps

分布の評価

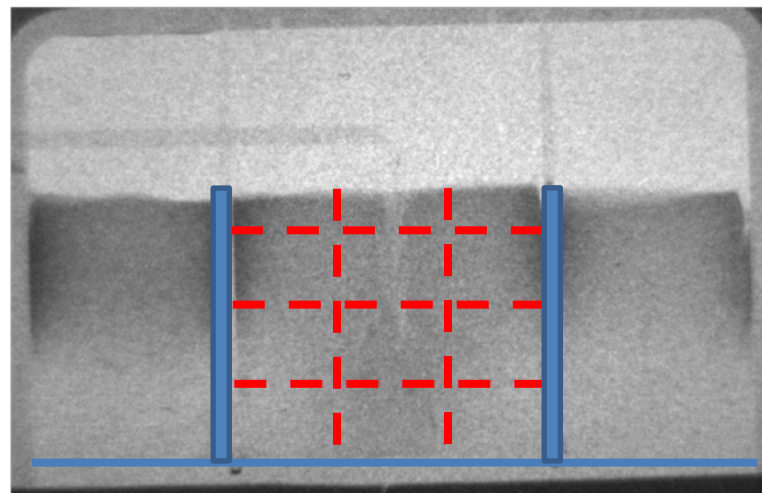
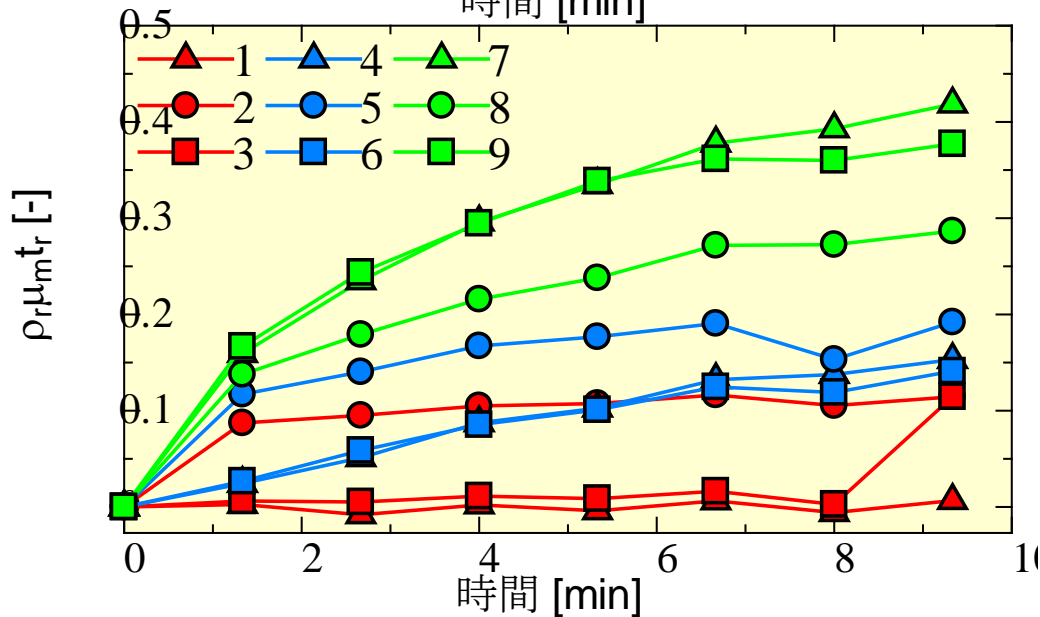
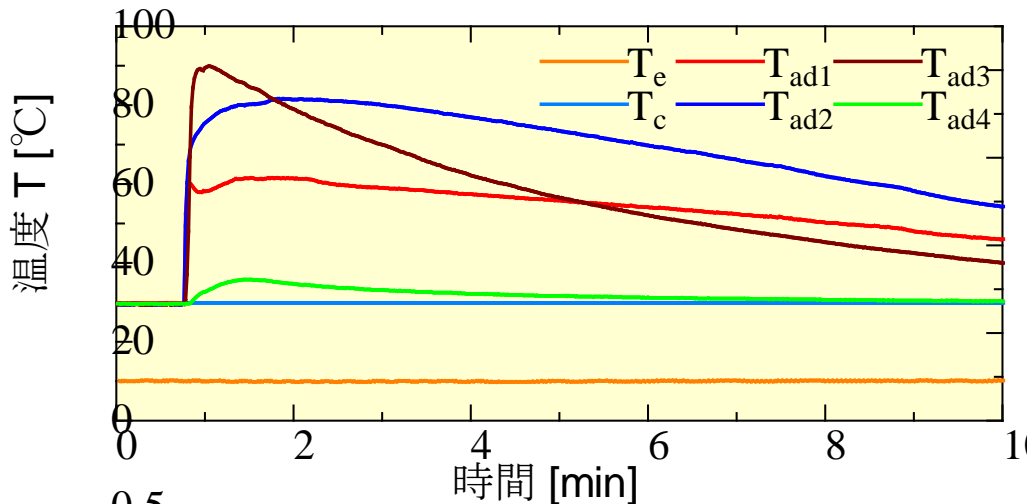
$$\rho_r \mu_{m_r} t_r = \ln \left(\frac{S_{dry} - 0}{S_{ads} - 0} \right)$$

S_{dry} : 吸着前の画像の輝度

S_{ads} : 吸着時の画像の輝度

0 : カメラの暗電流

実験条件
 リザーバー温度: 10°C
 冷却水温度: 30°C

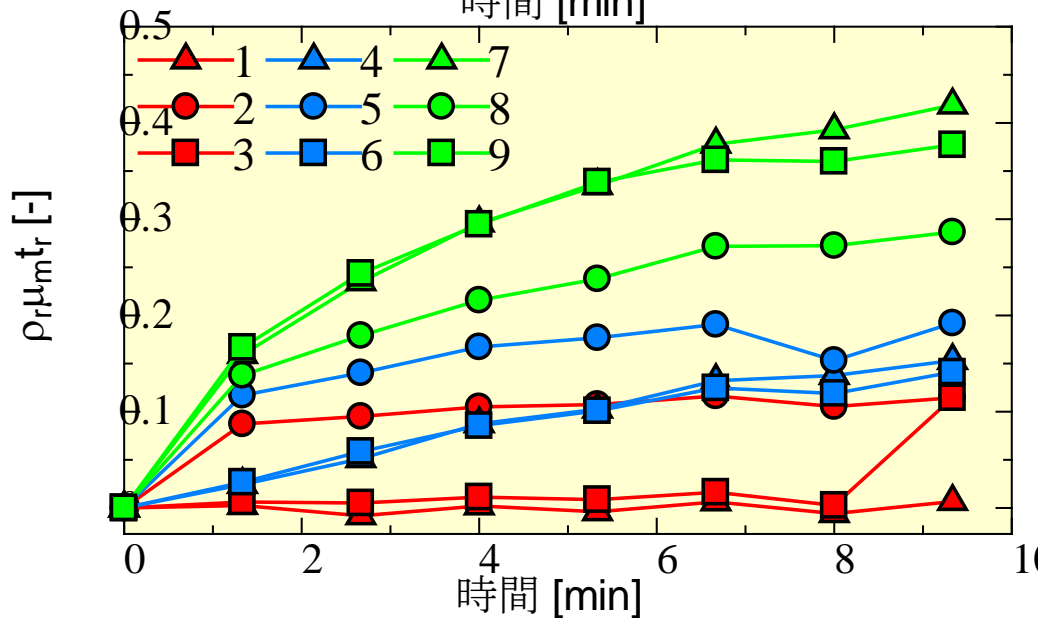
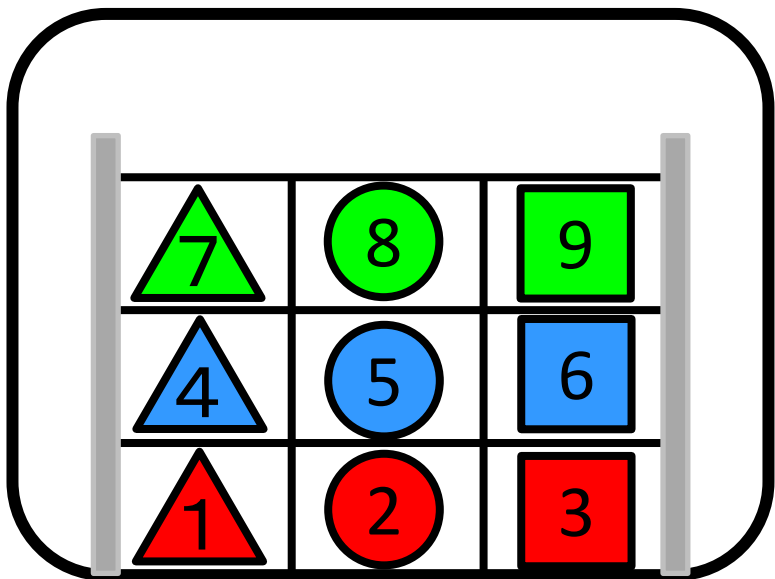
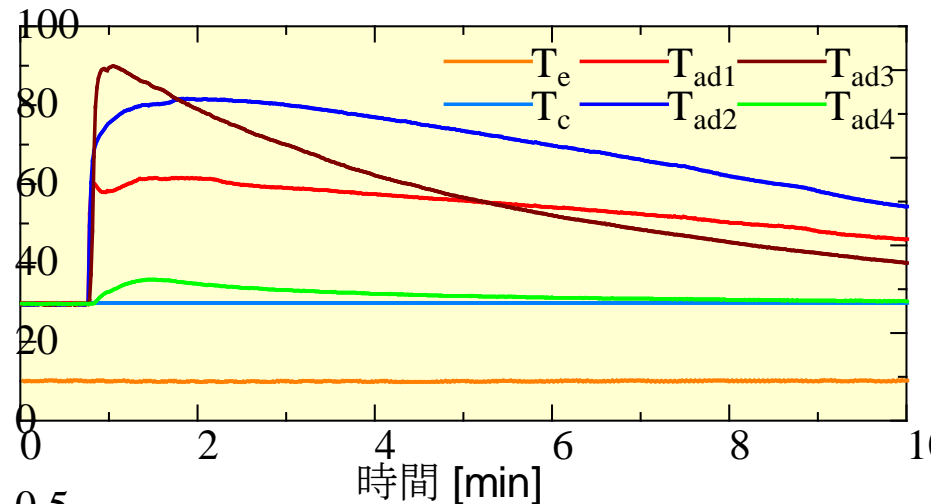
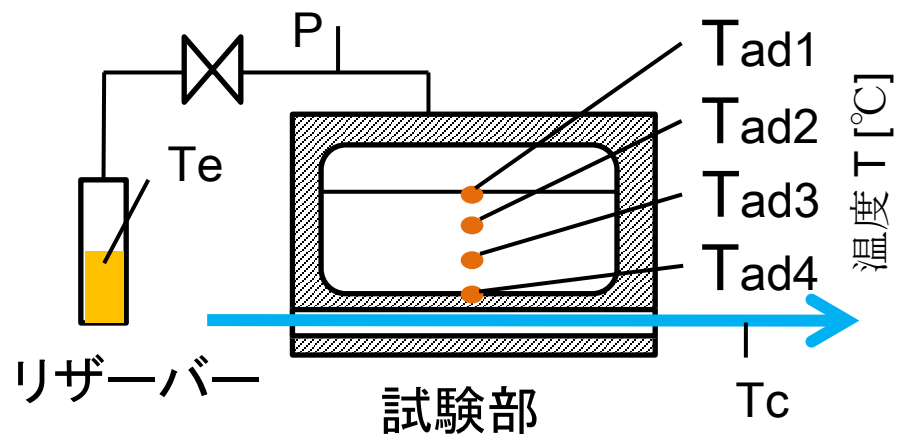


分布の評価

実験条件

リザーバー温度: 10°C

冷却水温度: 30°C

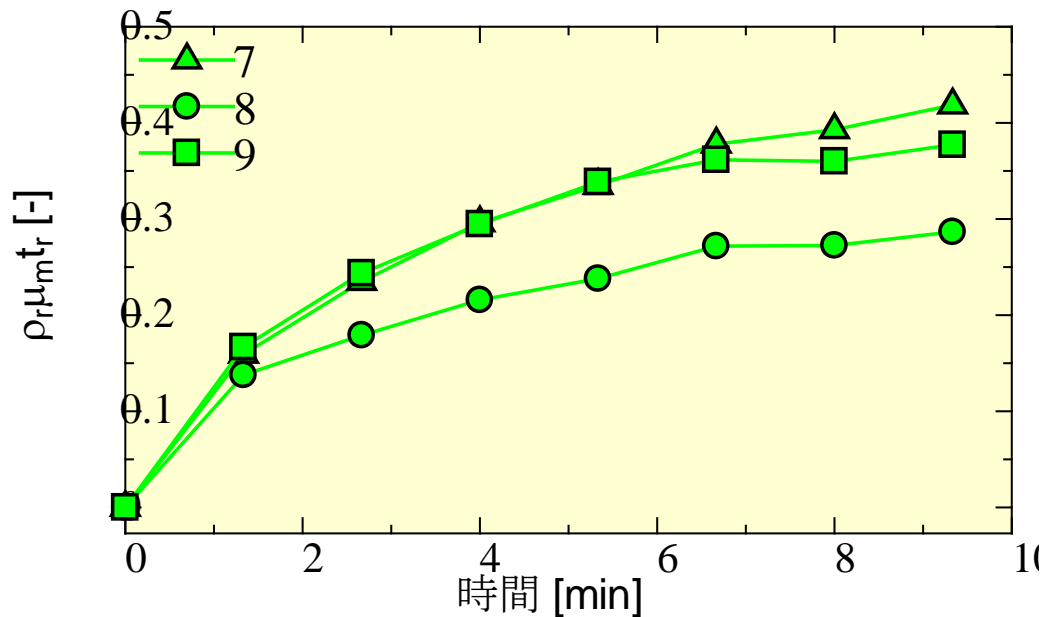
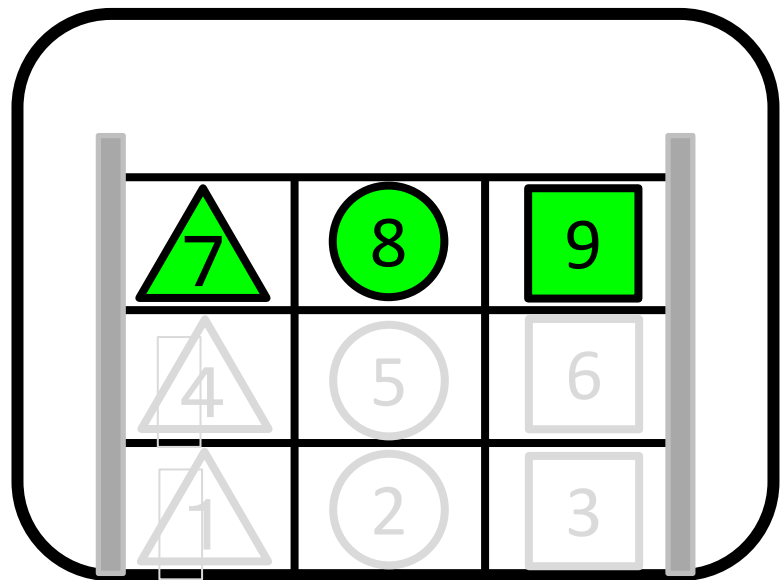
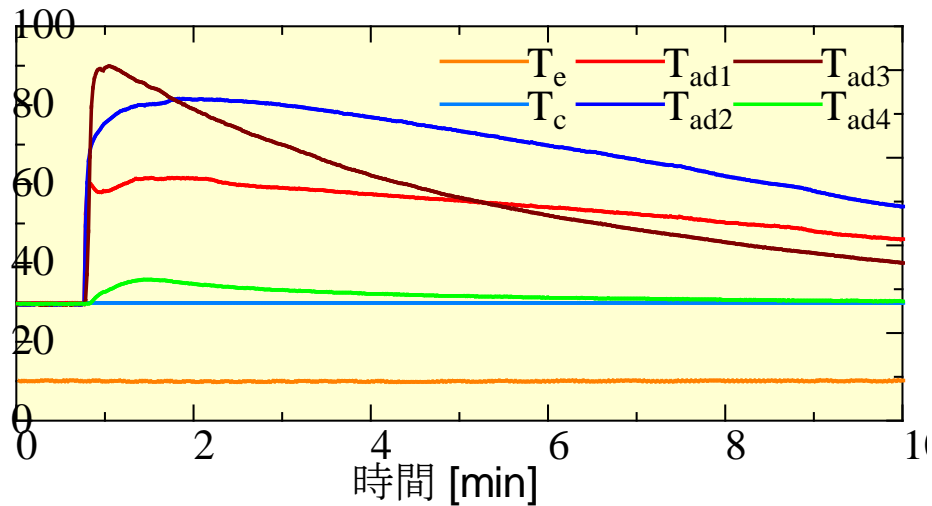
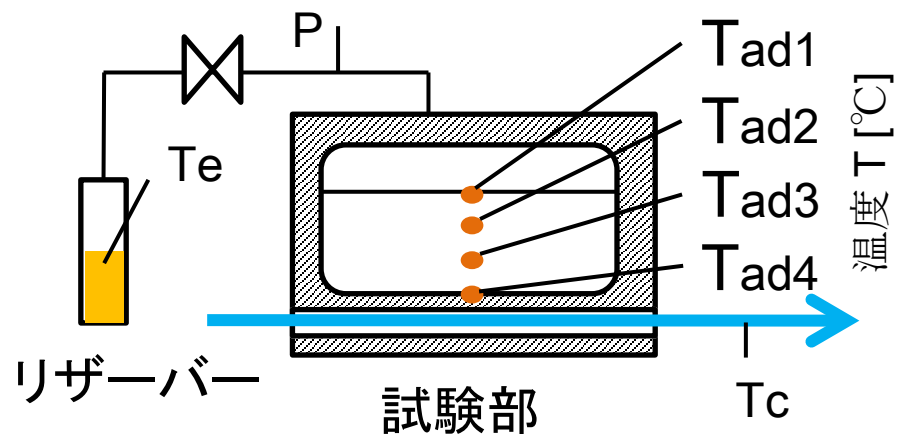


分布の評価

実験条件

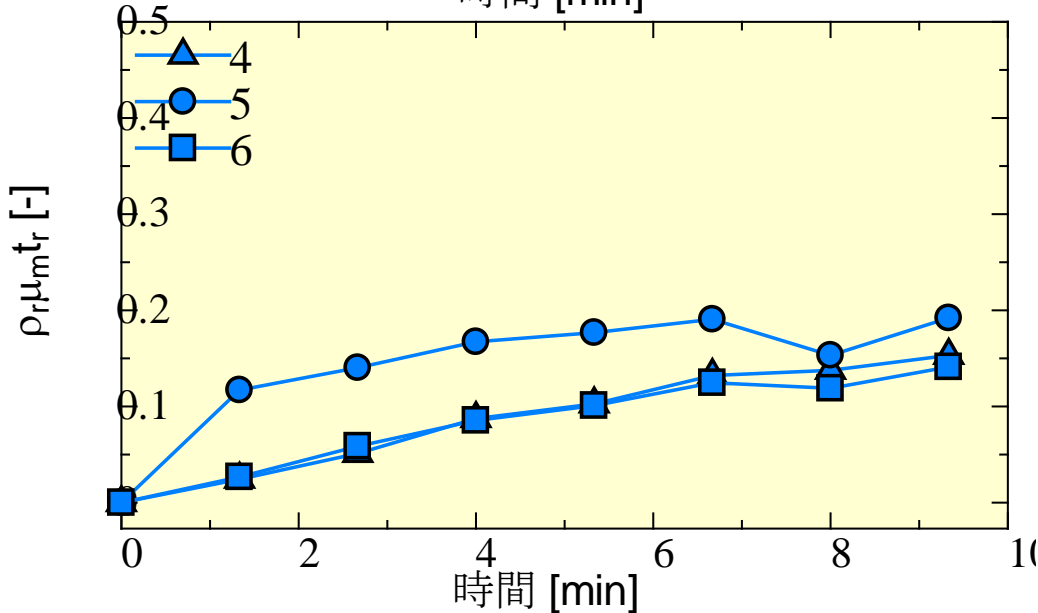
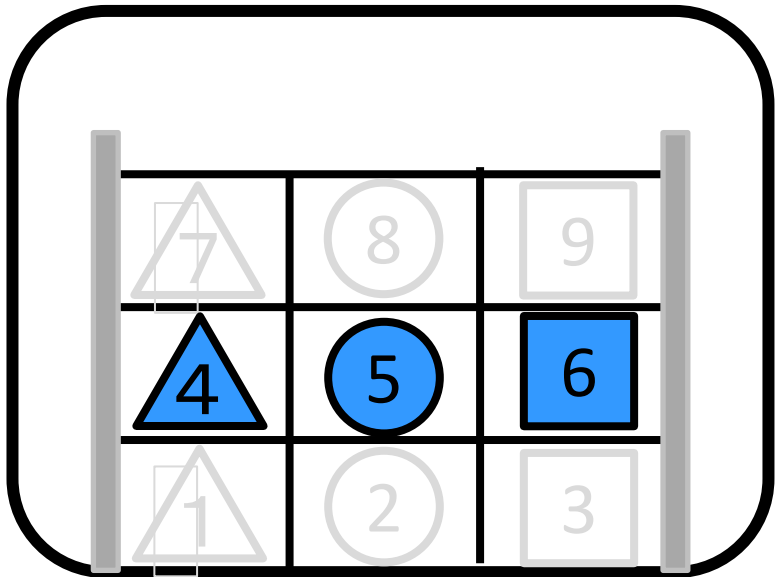
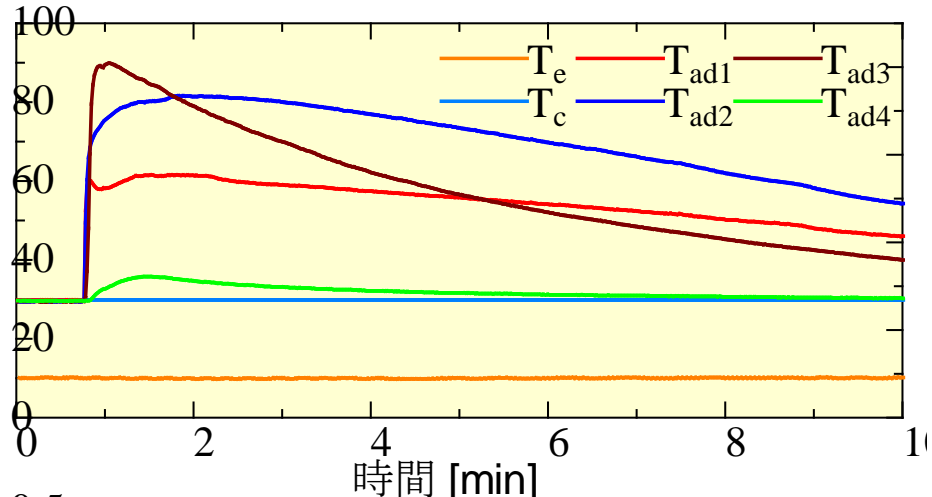
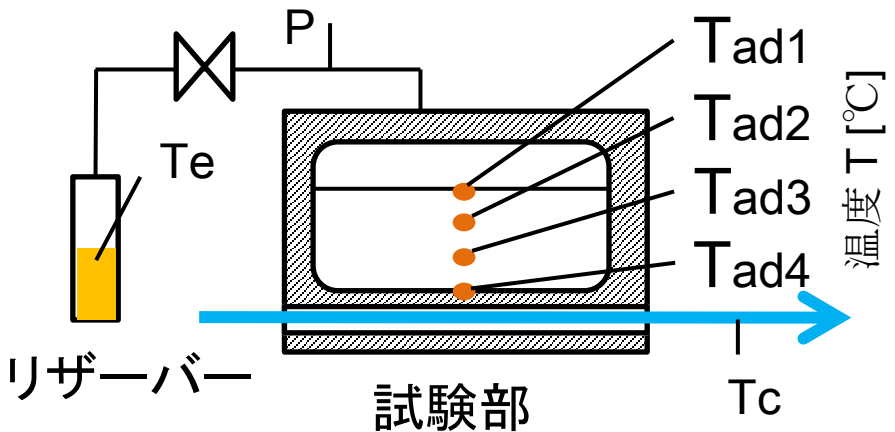
リザーバー温度: 10°C

冷却水温度: 30°C



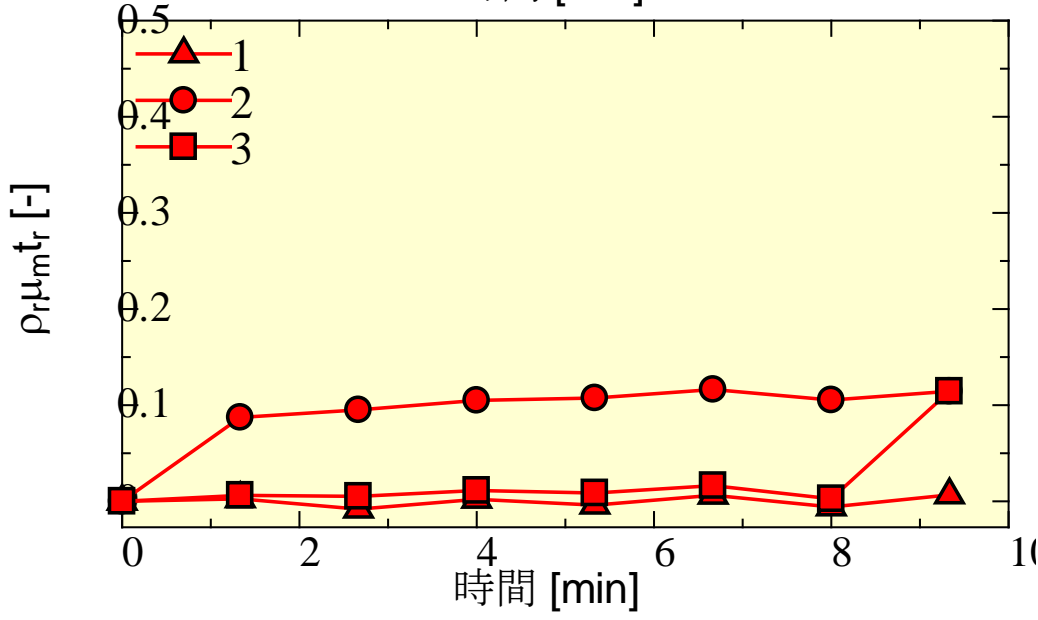
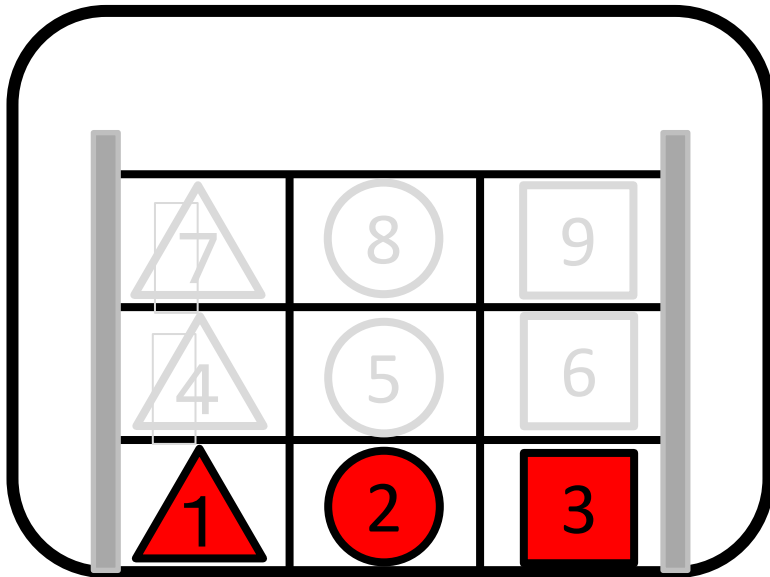
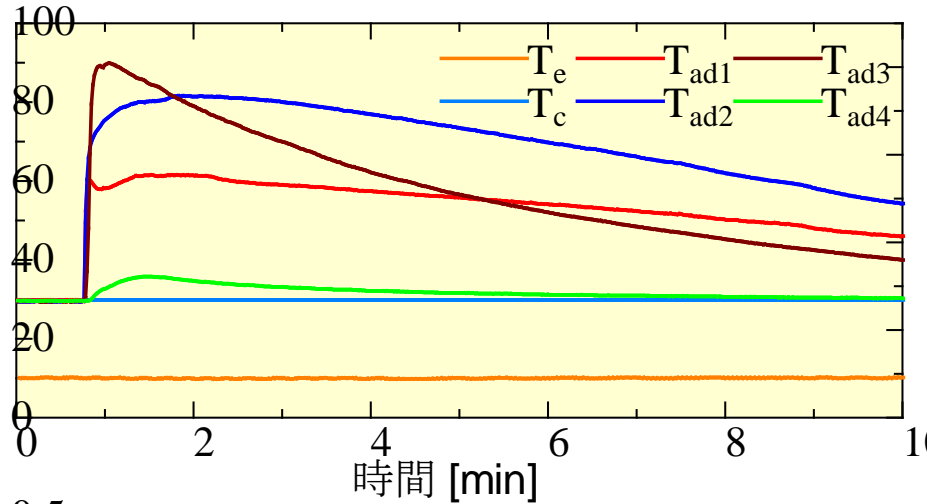
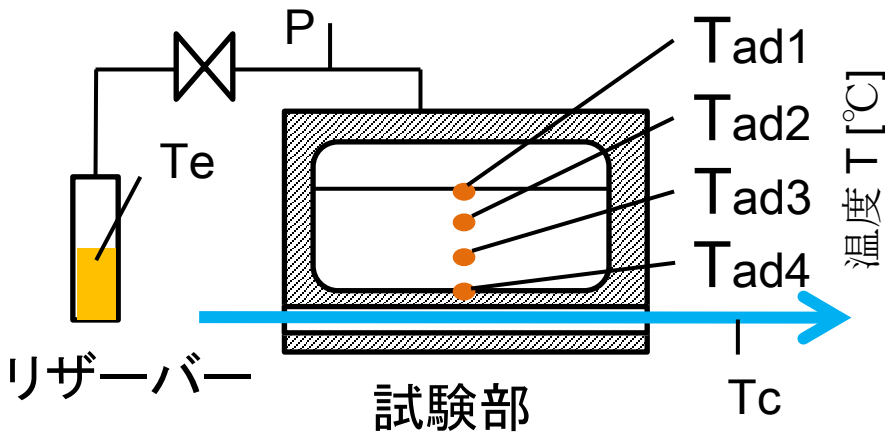
分布の評価

実験条件
 リザーバー温度: 10°C
 冷却水温度: 30°C



分布の評価

実験条件
 リザーバー温度: 10°C
 冷却水温度: 30°C

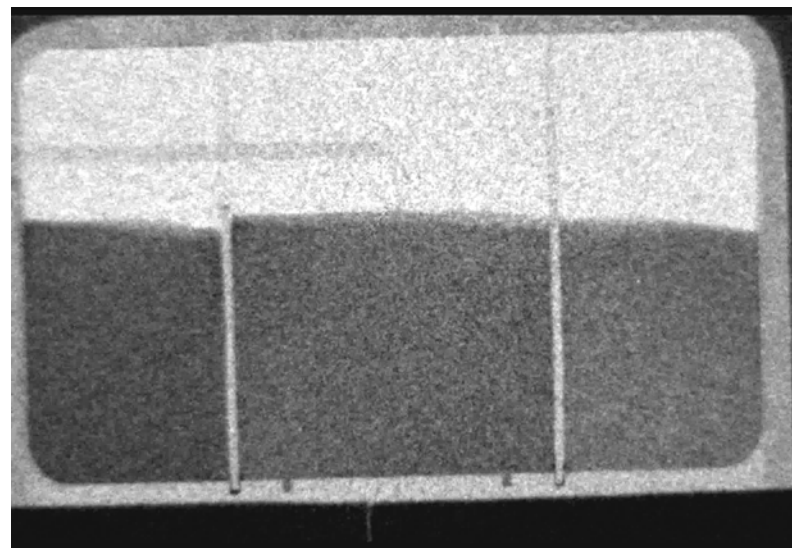
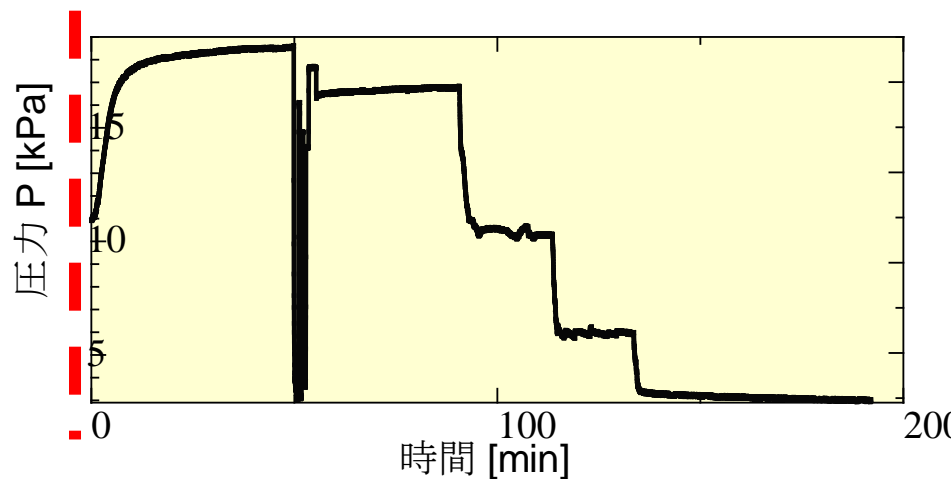
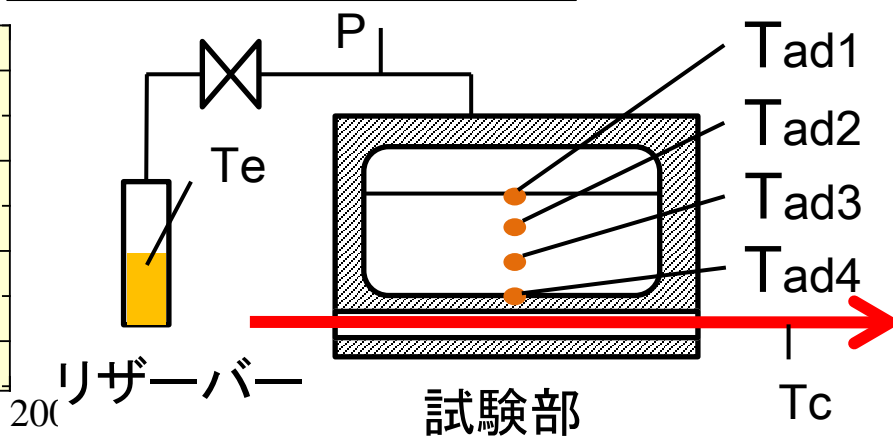
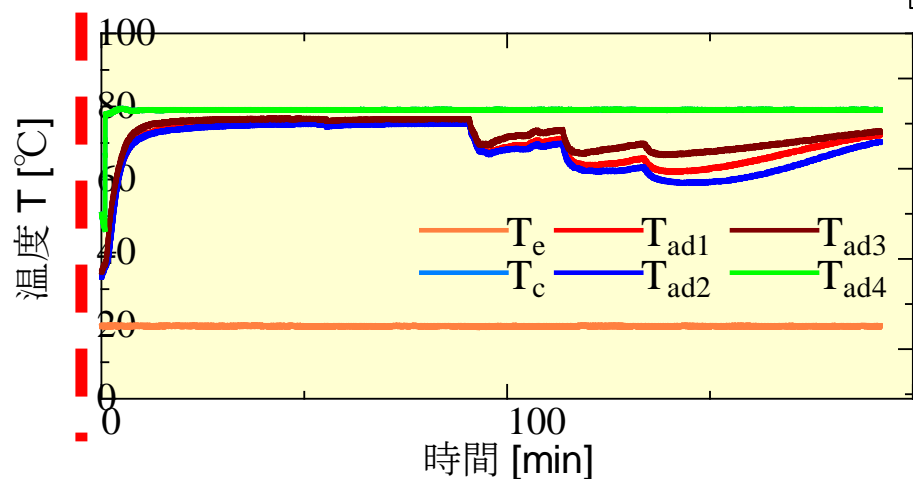


脱着過程

実験条件

温水温度:80°C

リザーバー温度:20°C



露光時間:30s , 撮影間隔:40s

ダイナミックレンジ:230(=吸着前1800-平衡時1570)

再生レート:20fps

まとめ

吸脱着過程の過渡変化の可視化によって以下のことがわかった。

エタノールの減衰特性

- ・真影法によって計測した結果，質量減衰係数は $3.898\text{cm}^2/\text{g}$ であった
- ・散乱が大きく，定量計測のためには真影法の適用が必要である

吸脱着過程の可視化

- ・露光時間30s,撮影間隔40sで，過渡変化を可視化することができた

吸着過程

- ・吸着材充填層の表層，フィン周辺で吸着速度が大きい
- ・熱電対を挿入している部分から蒸気が流入することで吸着している様子が確認された

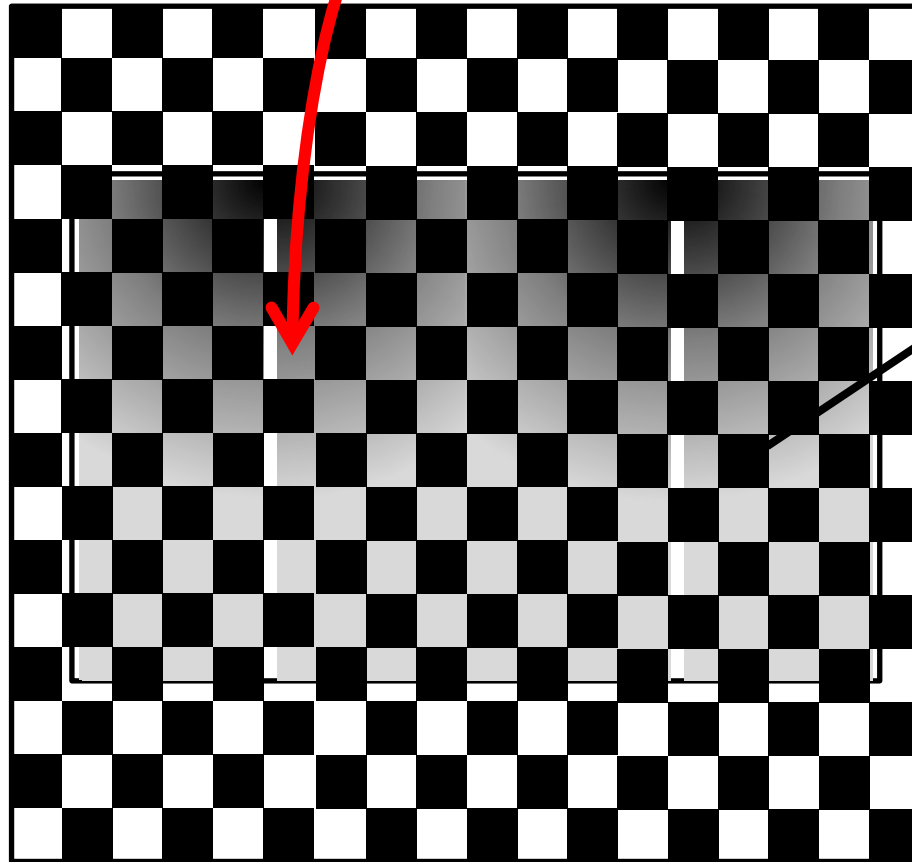
脱着過程

- ・伝熱面から吸着材が加熱されることによって，蒸気が生成し，粒子層が持ち上がった

真影法の適用

中性子吸収グリッド

フィン周辺が見える



吸着材充填層



まとめ

吸脱着過程の過渡変化の可視化によって以下のことがわかった。

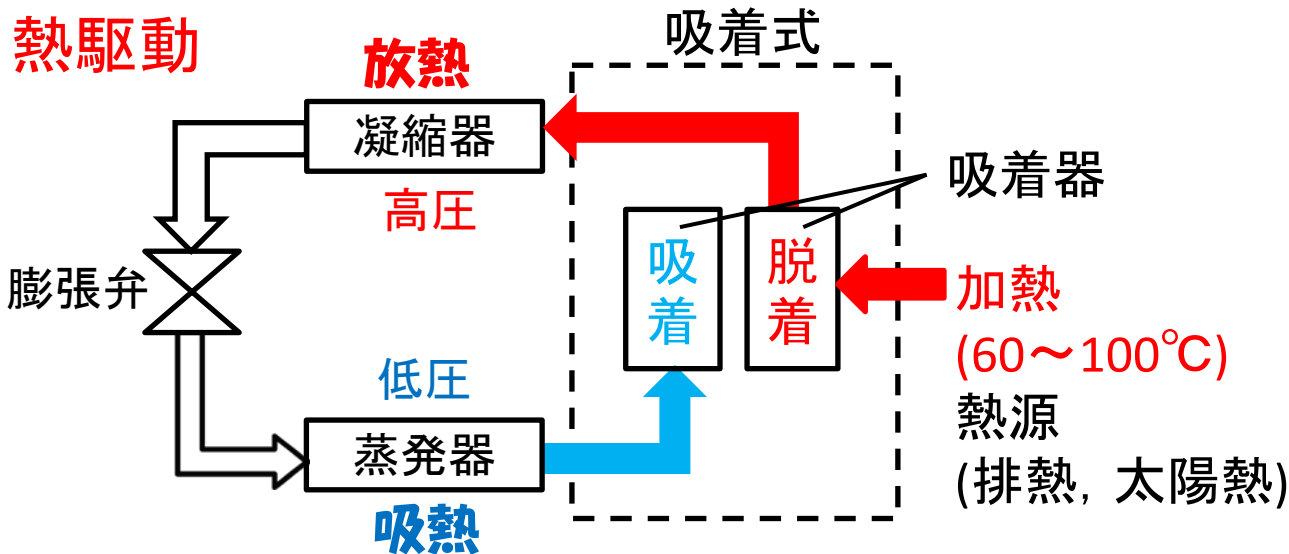
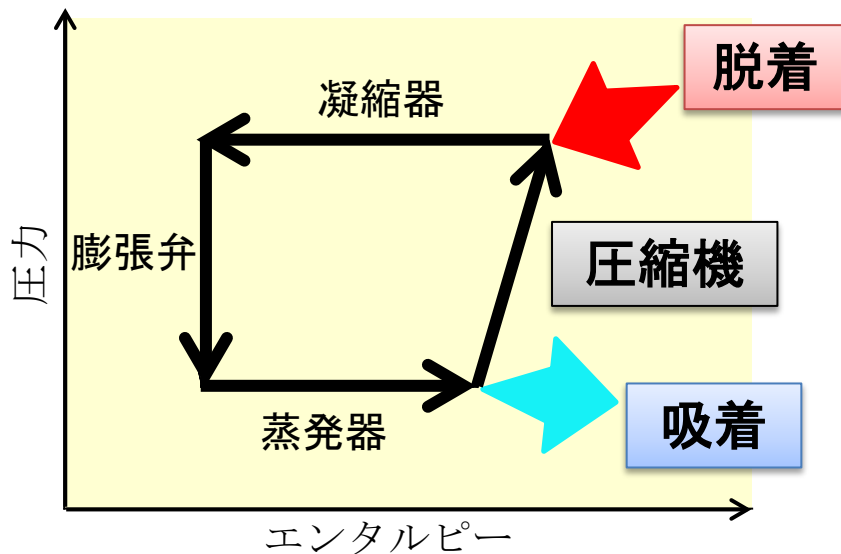
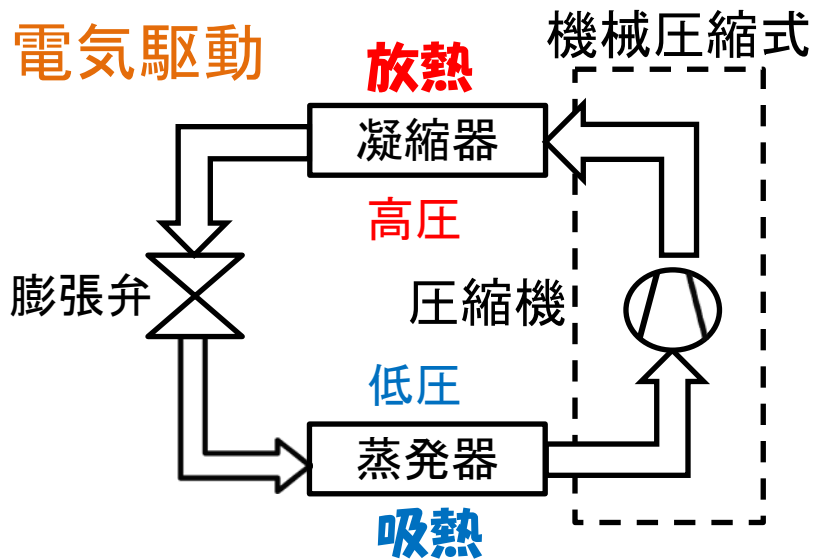
エタノールの減衰特性

- ・真影法によって計測した結果, 質量減衰係数は $3.898\text{cm}^2/\text{g}$ であった
- ・散乱が大きく, 定量計測のためには真影法の適用が必要である

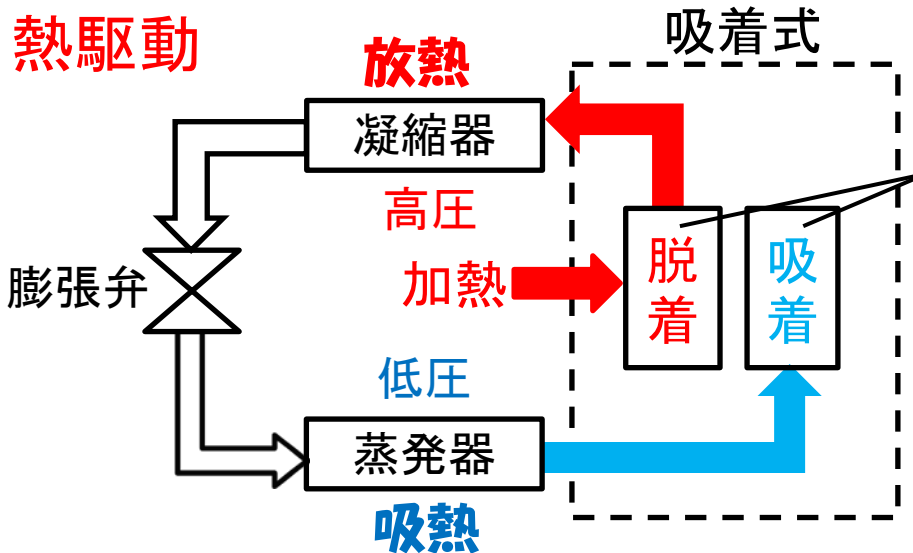
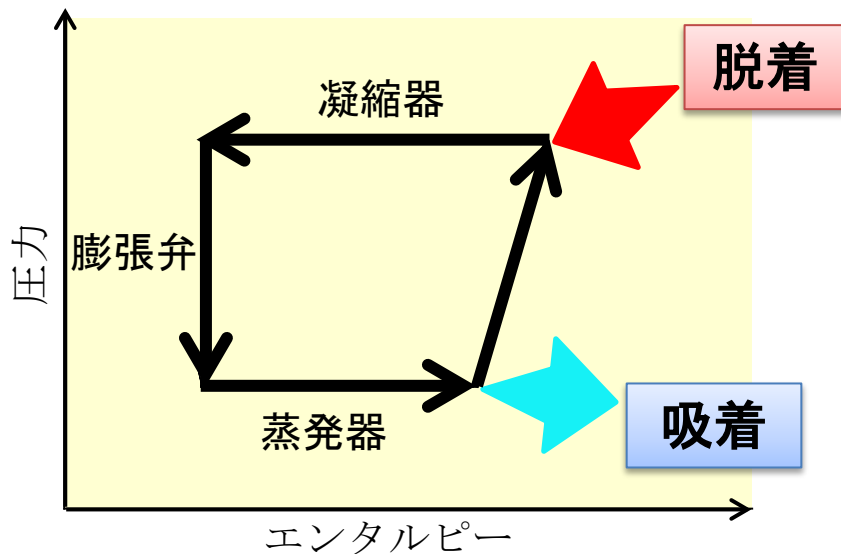
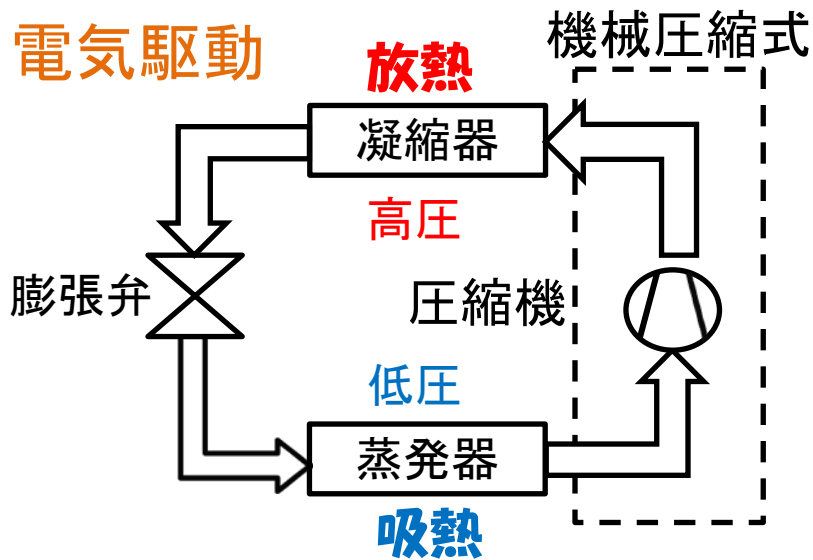
吸脱着時の可視化

- ・露光時間30s, 撮影間隔40sにすることで, 過渡変化を可視化することができた
- ・フィン周辺で吸着していることが確認された
- ・熱電対を挿入している部分から蒸気が流入することで吸着している様子が確認された。
- ・脱着時では伝熱面から蒸気が生成することで, 粒子層が持ち上がった。

吸着式ヒートポンプとは



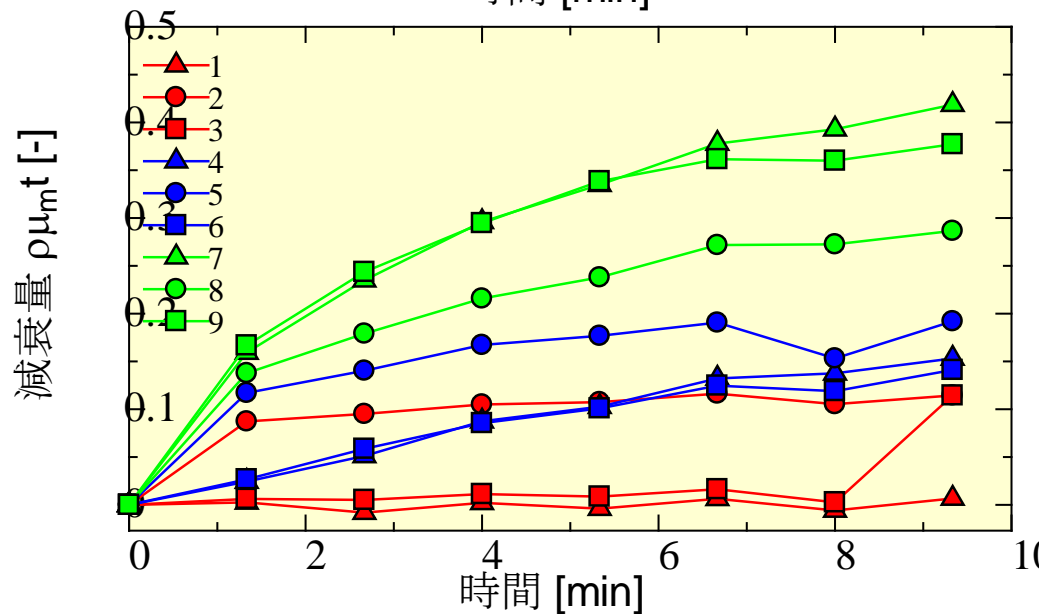
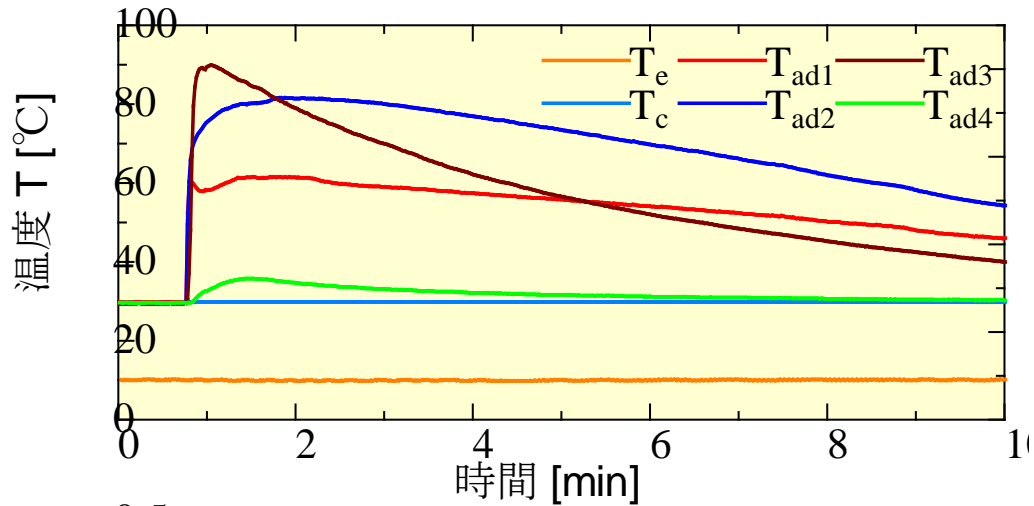
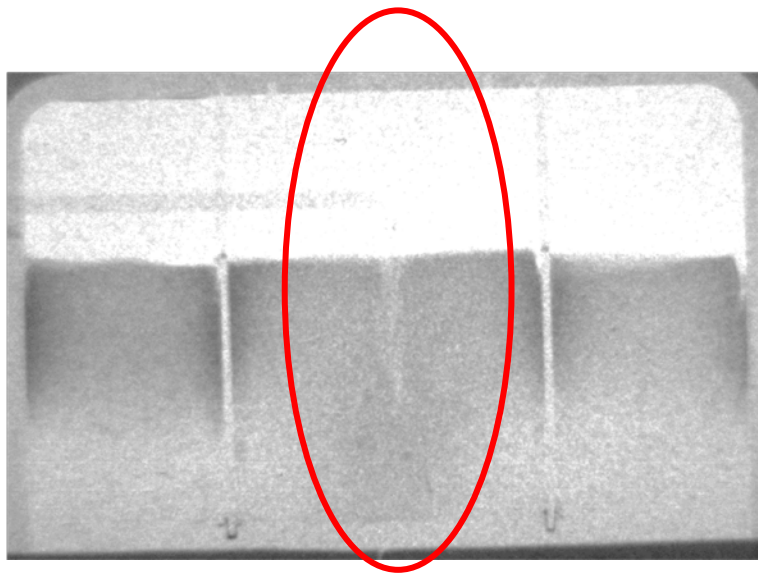
吸着式ヒートポンプとは



一定時間ごとに
吸着, 脱着を切り替える
バッチ運転

熱電対の影響

熱電対付近で
隙間がある



吸着量導出

吸着前

$$S_{dry} = GI_0 \exp(-\rho_{wall}\mu_{m\ wall}t_{wall} - (1 - \varepsilon)\rho_{ads}\mu_{m\ ads}t_{ads}) + 0$$

吸着過程

$$S_{ads} = GI_0 \exp(-\rho_{wall}\mu_{m\ wall}t_{wall} - (1 - \varepsilon)\rho_{ads}\mu_{m\ ads}t_{ads} - \rho_r\mu_{m\ r}t_r) + 0$$

吸着量の算出式

$$\Delta m = \rho_r t_r = \frac{1}{\mu_{m\ r}} \ln \left(\frac{S_{dry} - O_0}{S_{ads} - O_0} \right)$$

ホワイトスポットノイズ

- ホワイトスポット
冷却型CCDカメラへの γ 線による
CCDチップの放射線障害に伴う画像
で発生するノイズである
ノイズが発生している点では画像の
輝度が周囲の輝度と比べ高い値を
とっている

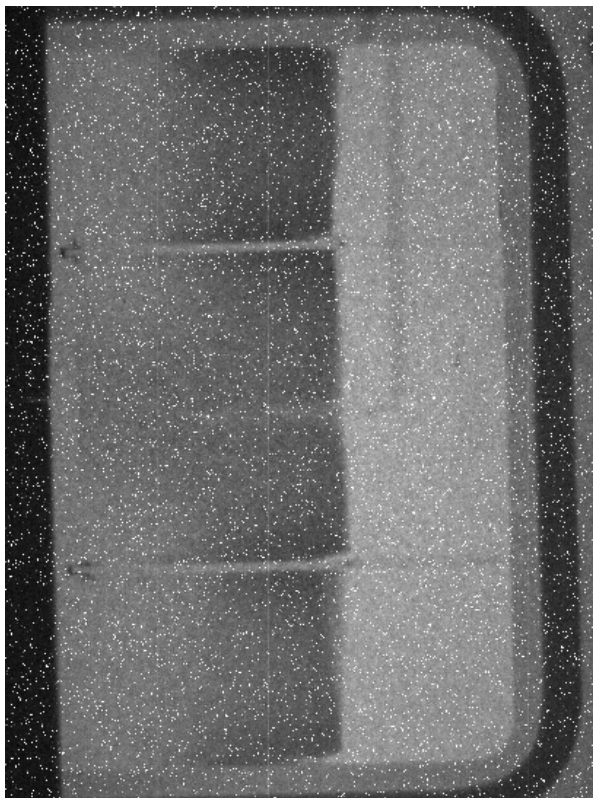


可視化画像から吸着量を
定量的に評価するためには
ノイズをできるだけ除去しなければ
ならない

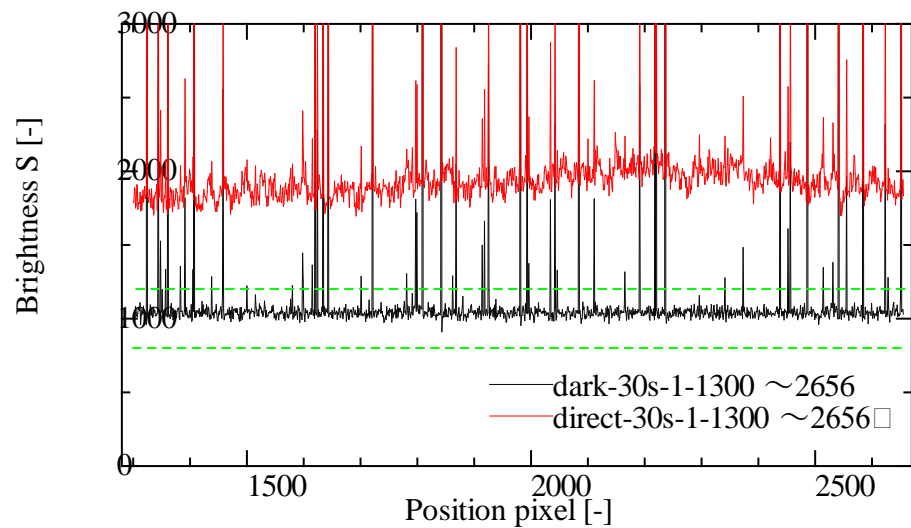
物体を置かずに中性子線をコンバーターに当てたとき
露光時間:60s
原子炉出力:1MW

ノイズ除去方法

可視化画像には
多数のノイズが存在する

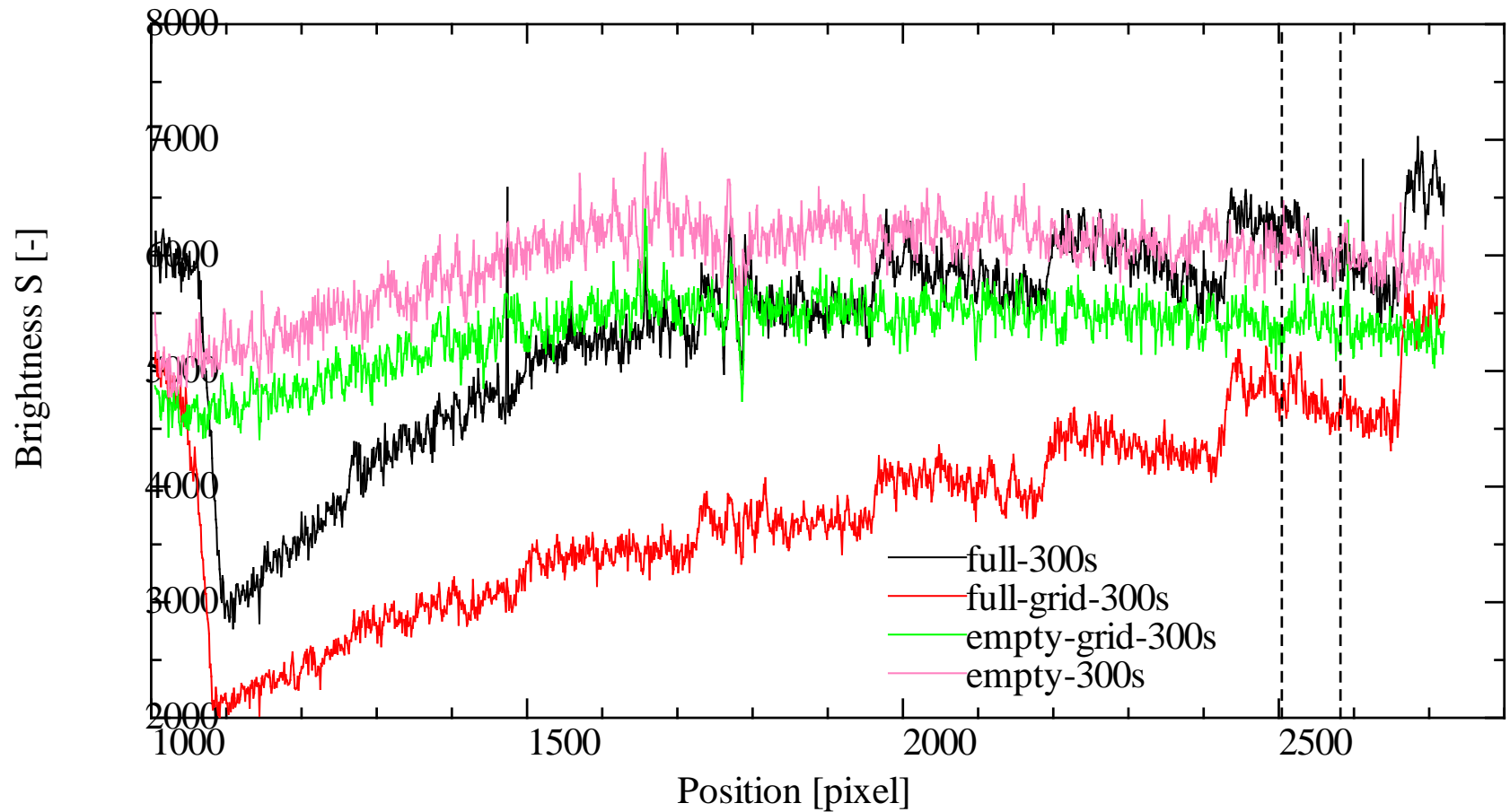


DarkとDirectの比較

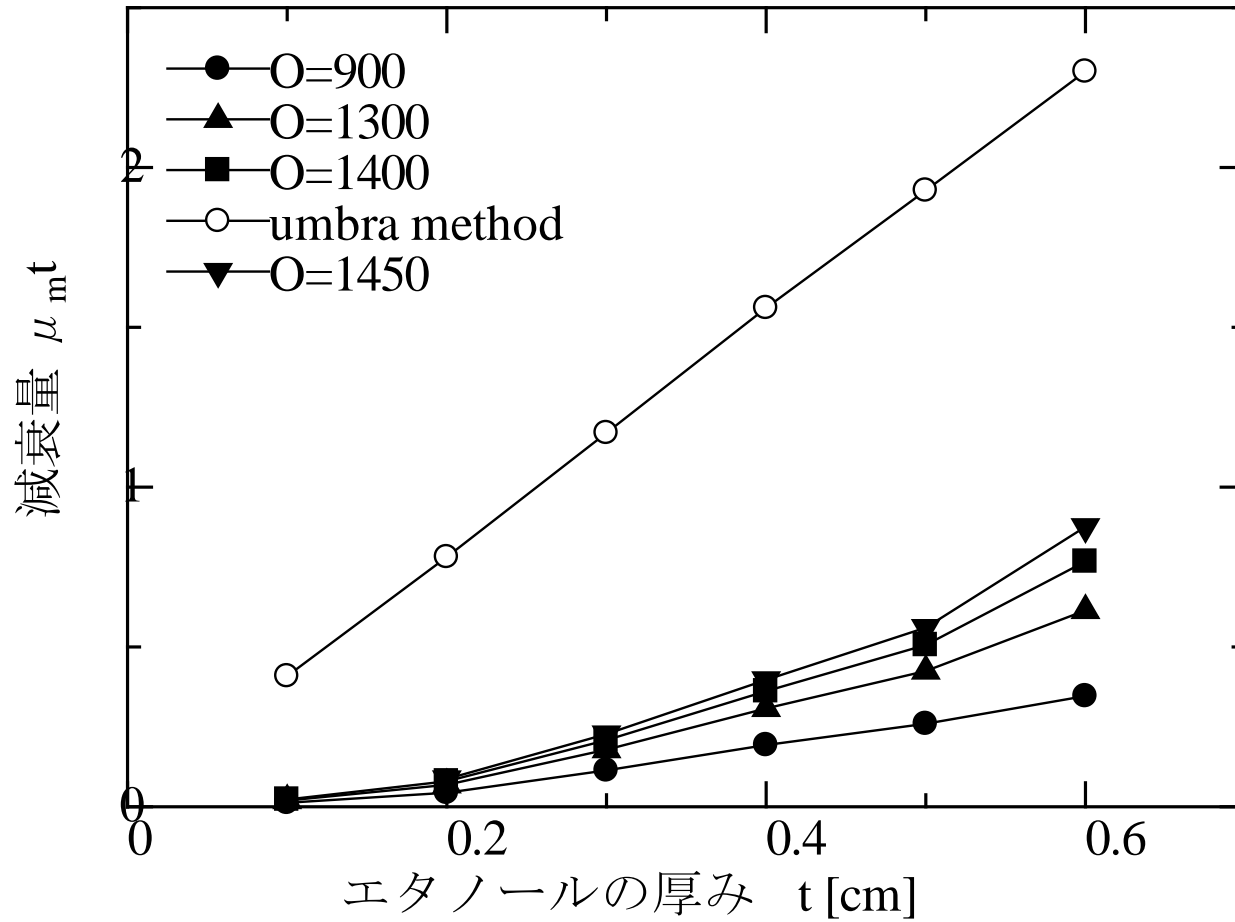


閾値以上をノイズとした

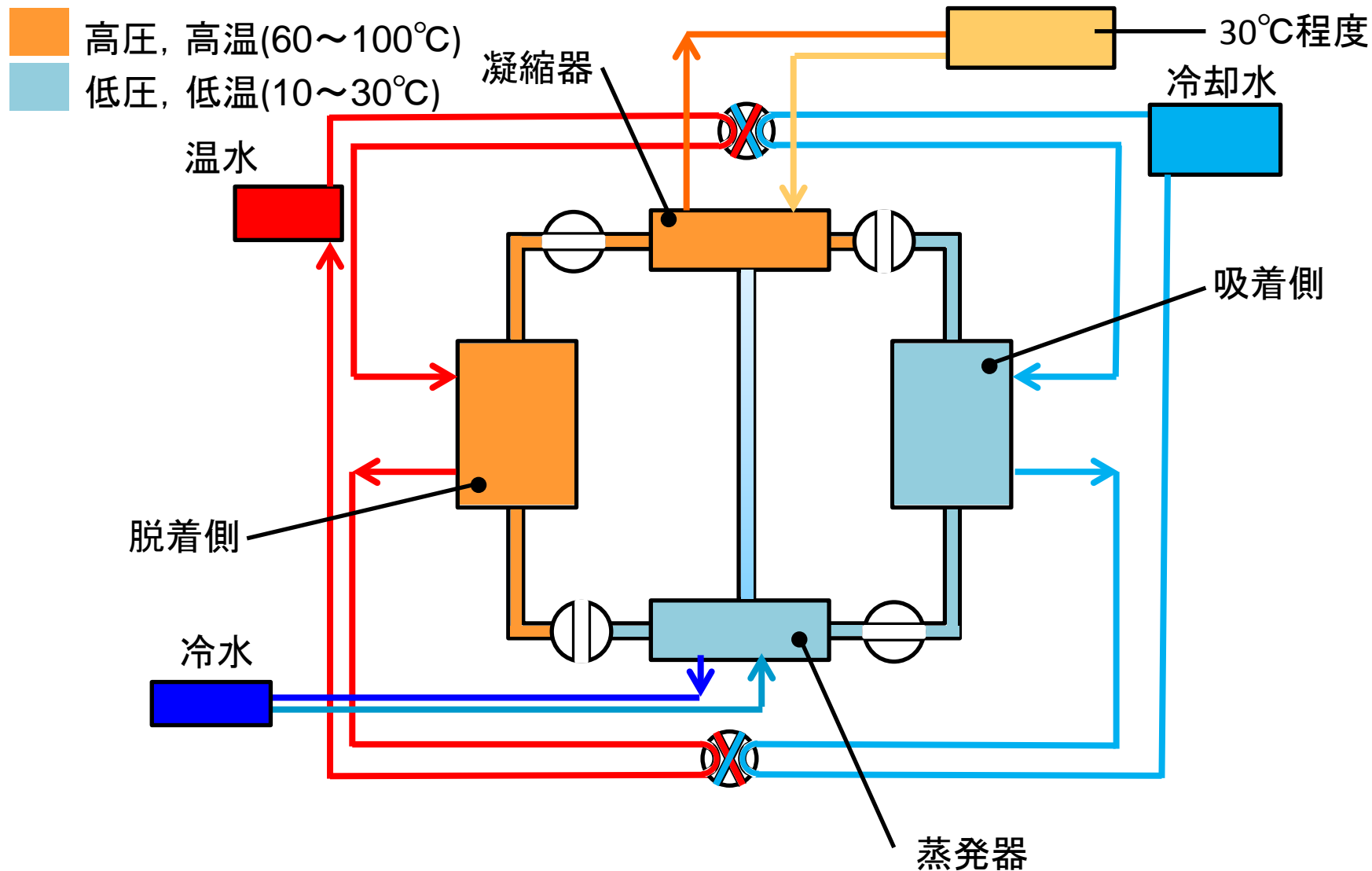
散乱確認



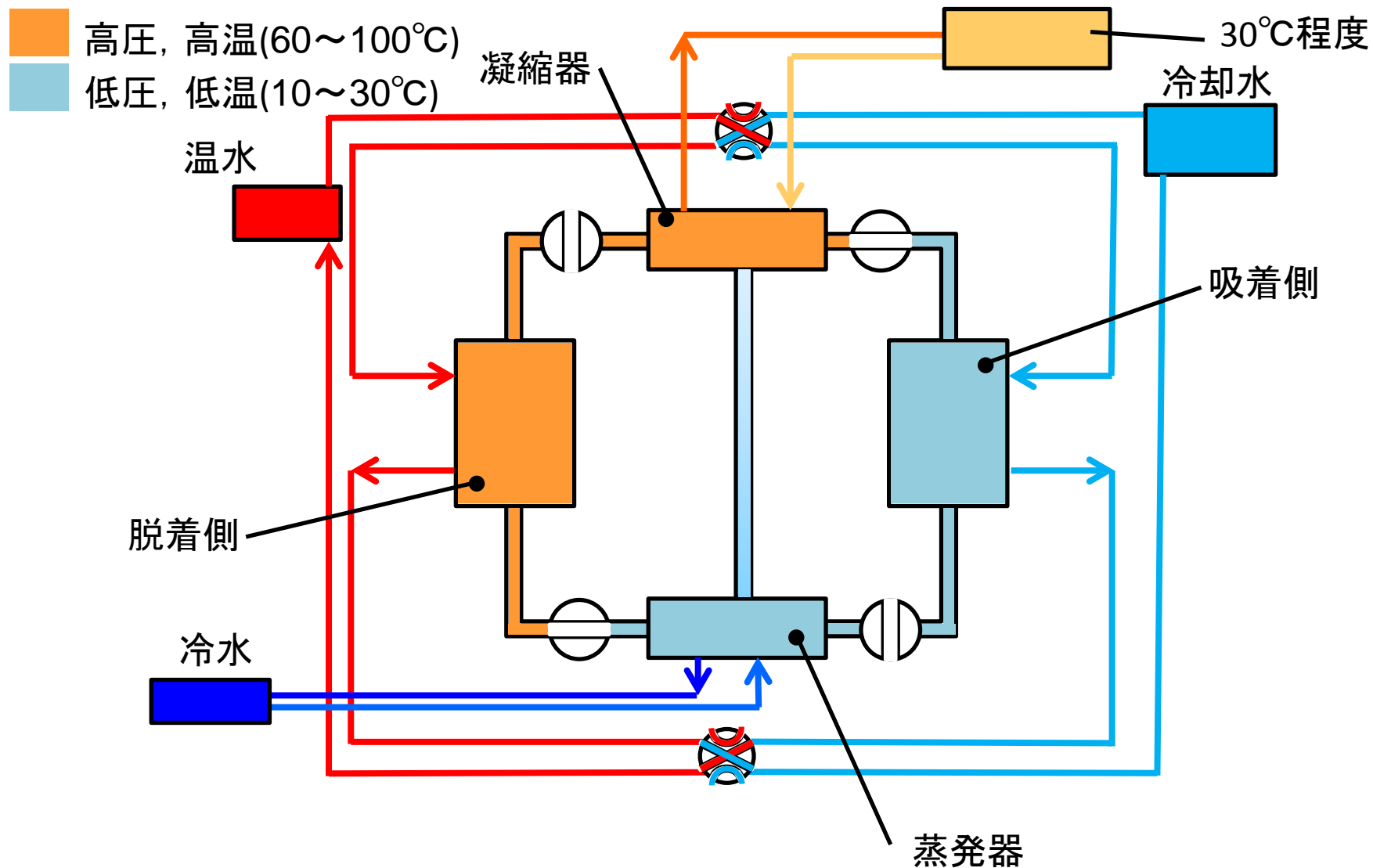
迷光



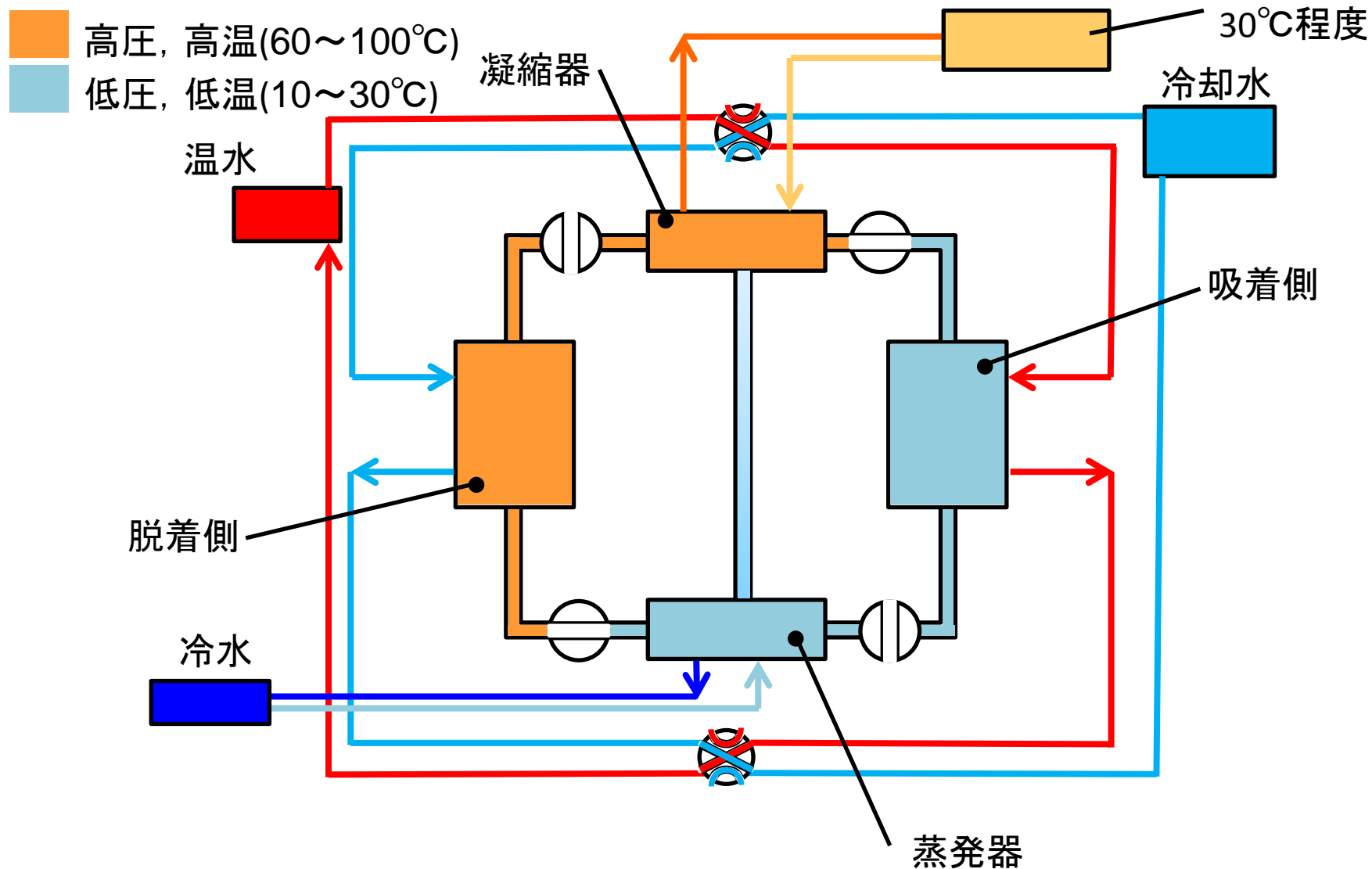
吸着冷凍システムの動作



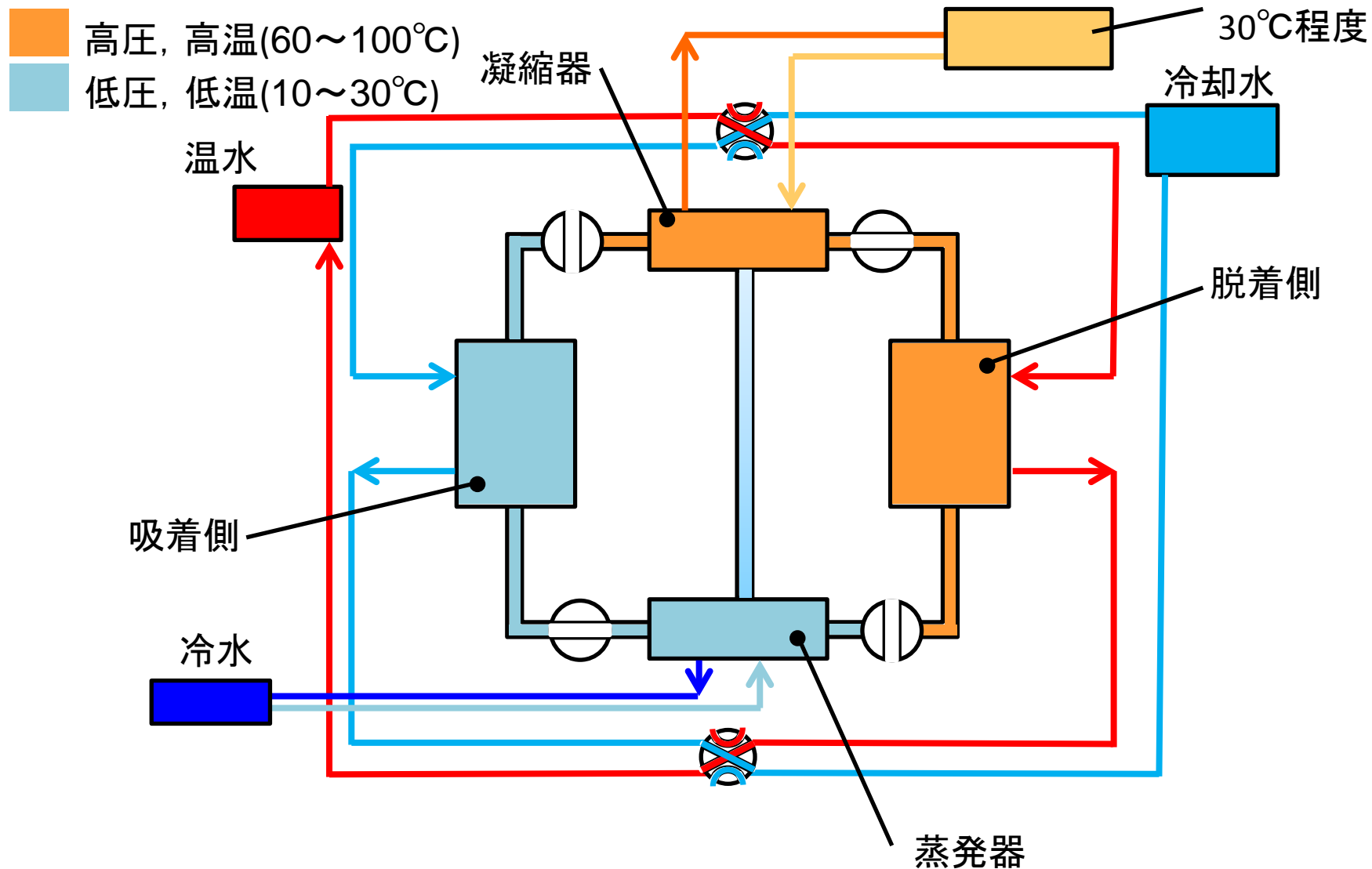
吸着冷凍システムの動作



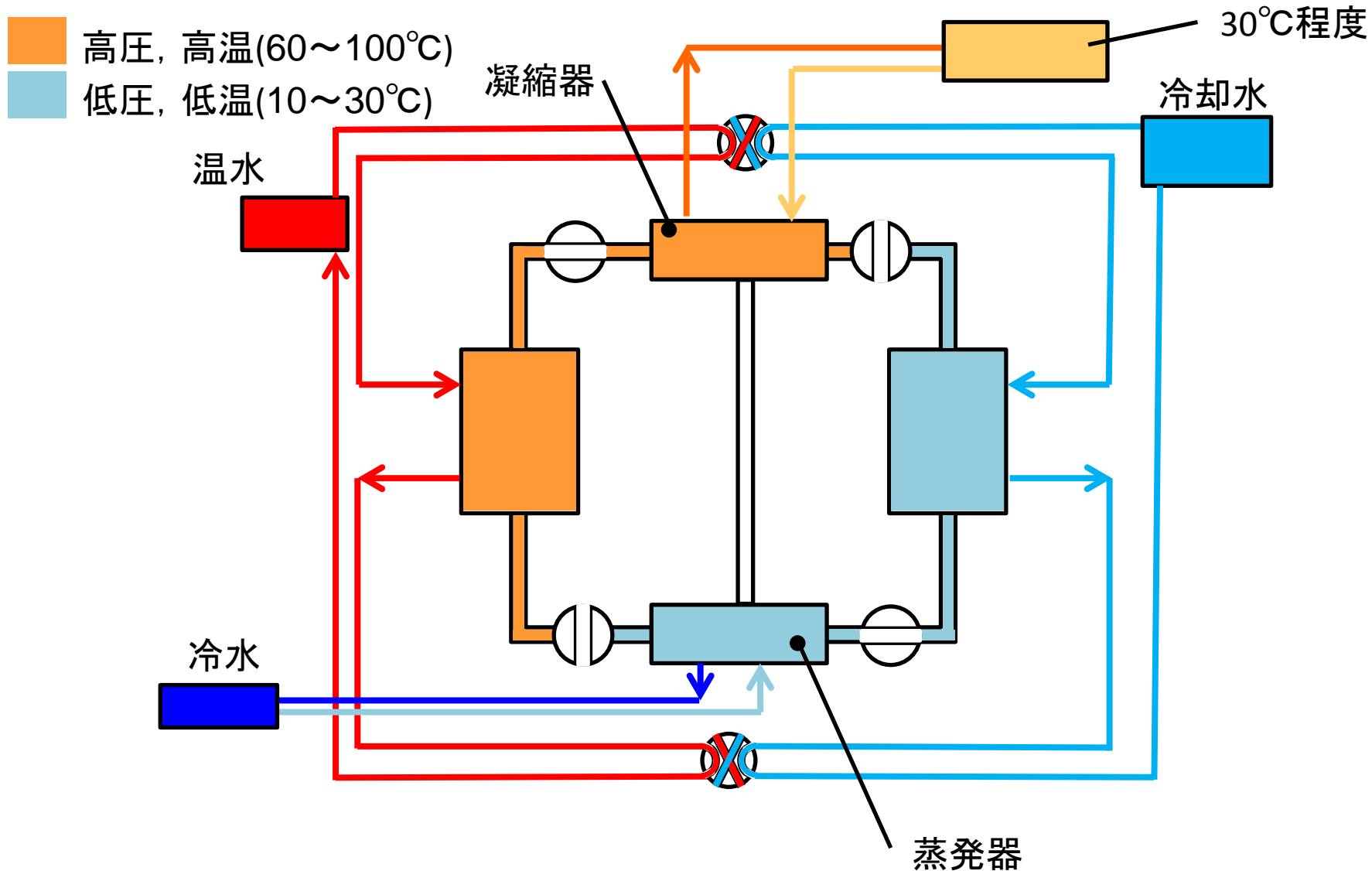
吸着冷凍システムの動作



吸着冷凍システムの動作

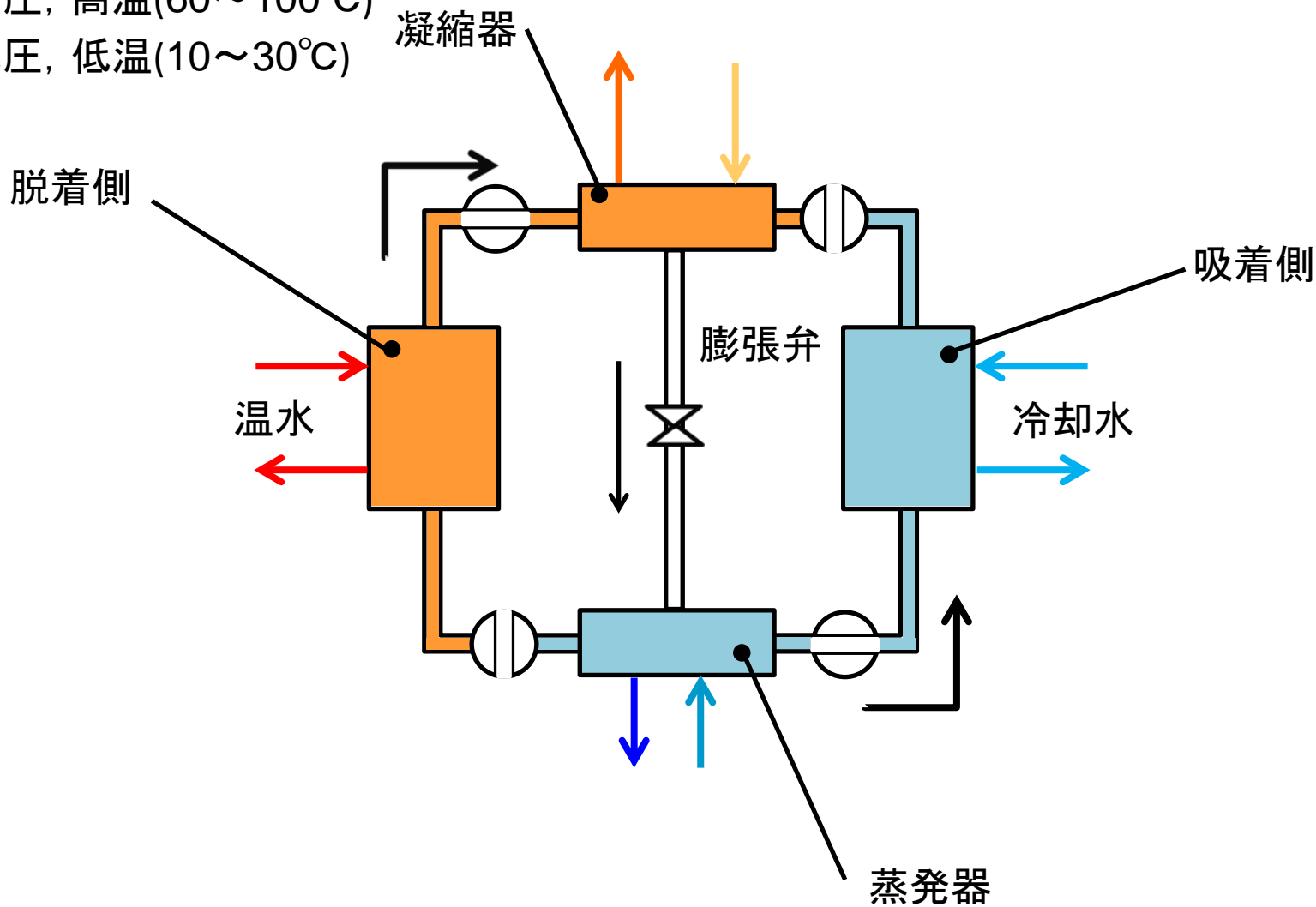


吸着冷凍システムの動作



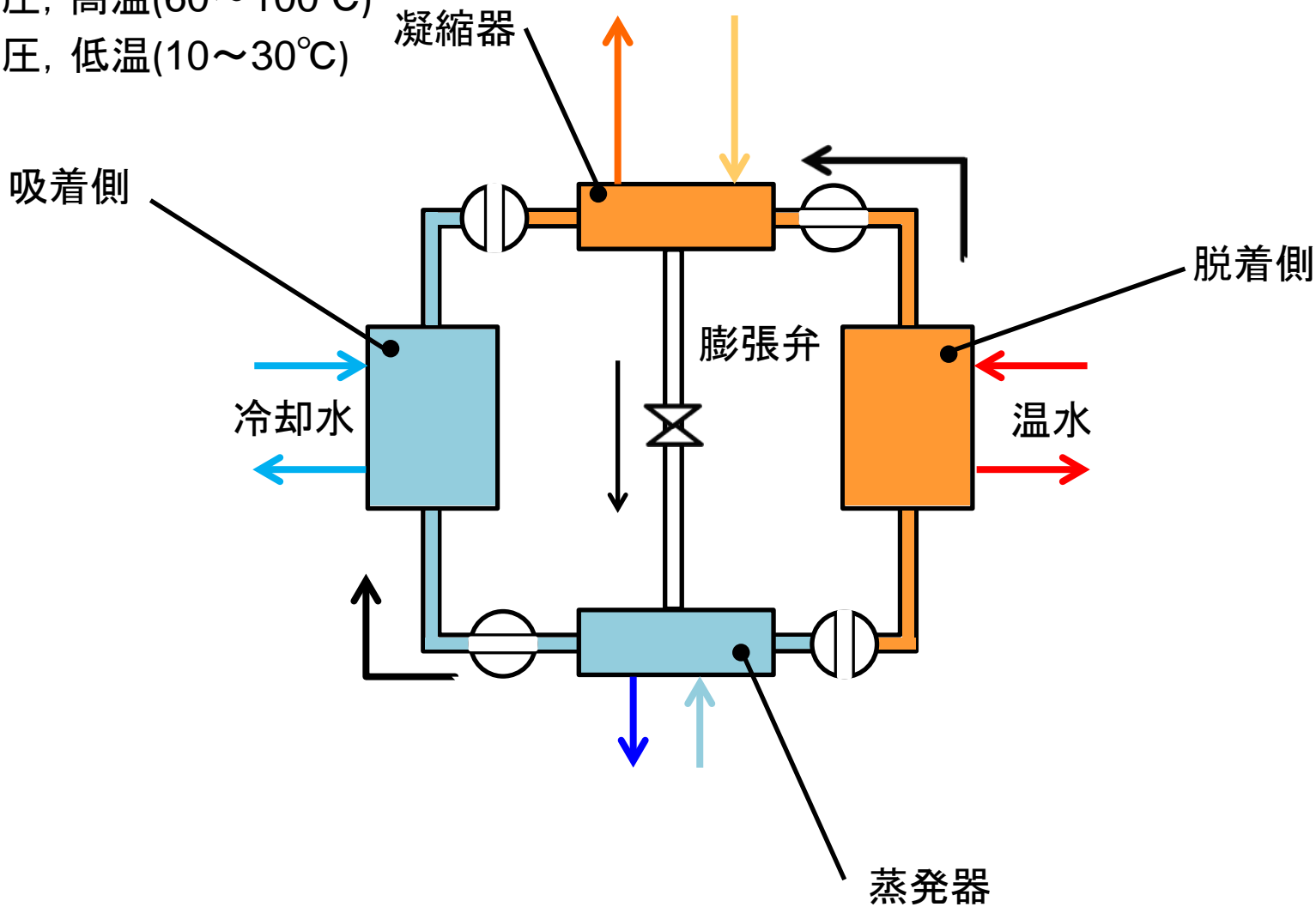
吸着冷凍システムの動作

- 高圧, 高温(60~100°C)
- 低圧, 低温(10~30°C)



吸着冷凍システムの動作

- 高圧, 高温(60~100°C)
- 低圧, 低温(10~30°C)



エタノール・活性炭の優位性

吸着は表面で起こる現象なので、比表面積が高いほど、吸着量は上昇すると考えられる

活性炭は吸着能力が高い

活性炭は疎水性あるため、水はあまり吸着しない