

---

# 放射(輻射)冷暖房の 消費エネルギー計算

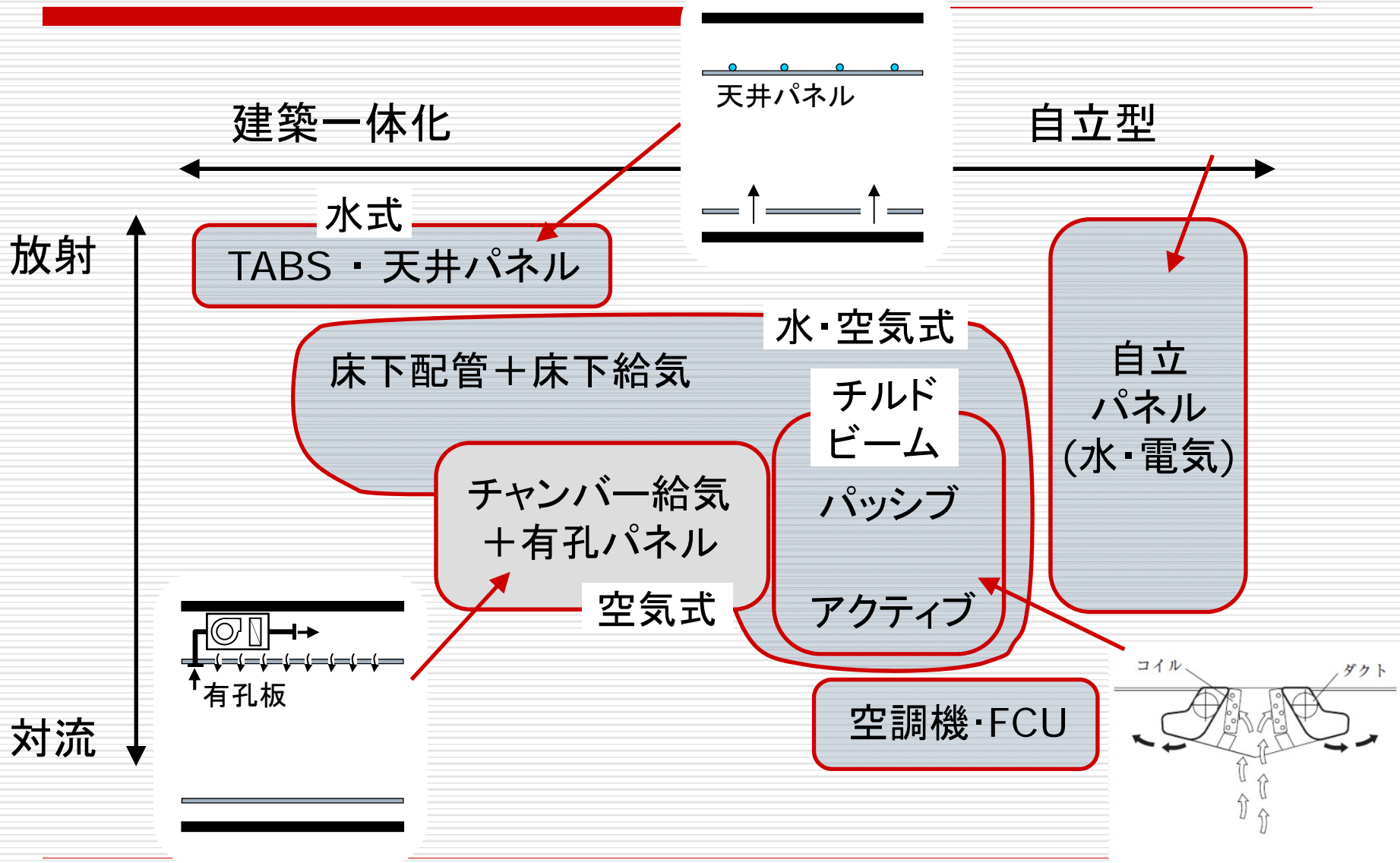
東京理科大学  
長井 達夫



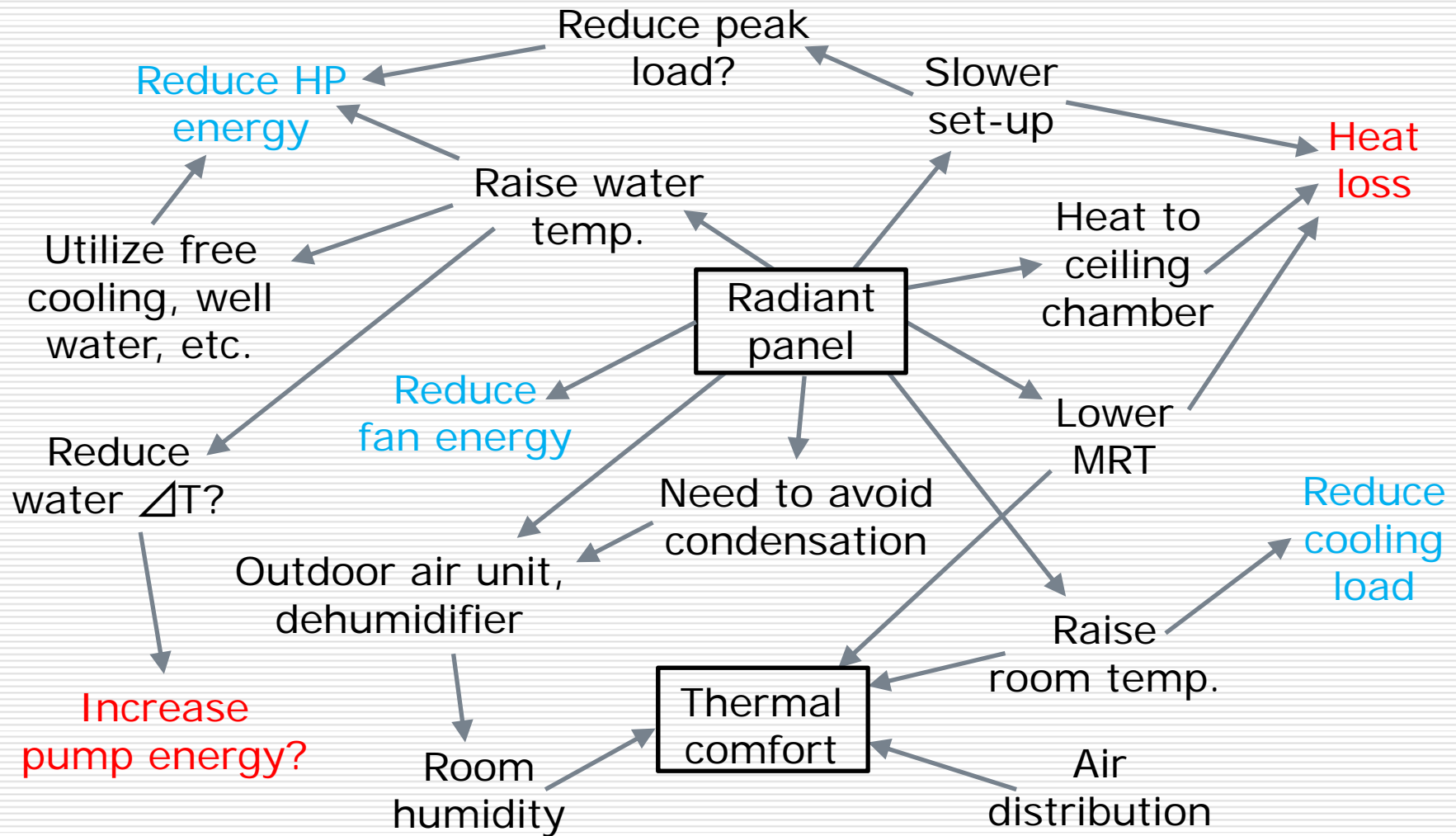
はじめに



# 放射冷暖房の位置付け



# 放射冷暖房方式は省エネか？



---

# 放射パネル計算

---

# モデルアプローチ

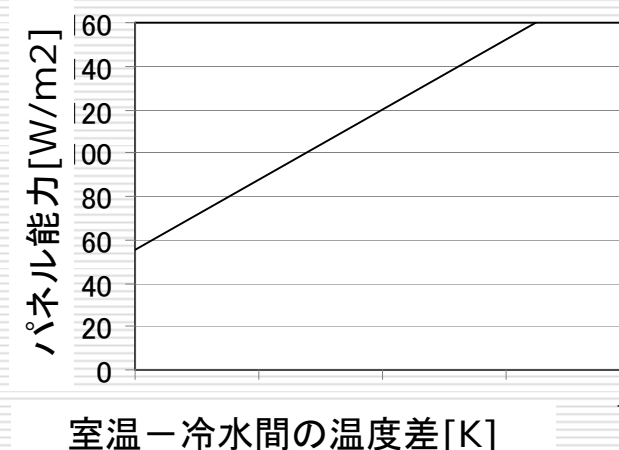
## □ 演繹的モデリング

- 配管、フィン、パネル形状等から熱コンダクタンスを算出
- 放射パネルの設計に利用可
- 入力データが複雑、メーカー品の場合入手困難

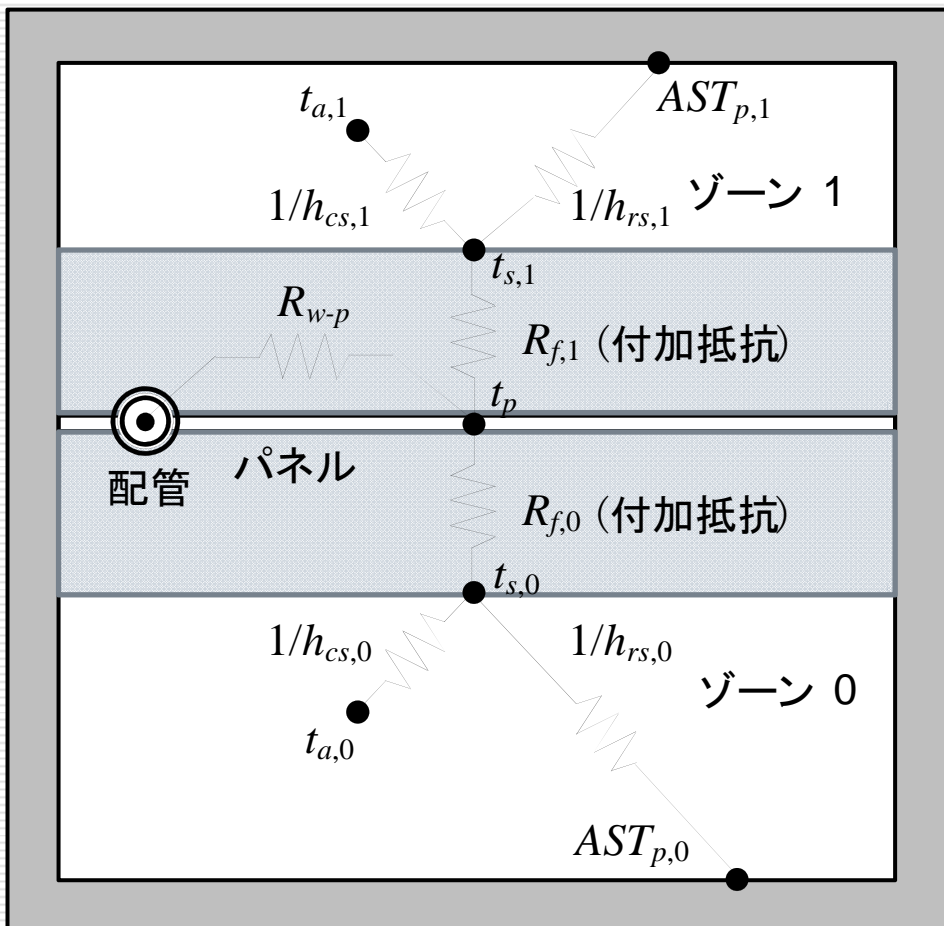
## □ 帰納的モデリング

- メーカーの試験特性から水～室温間のコンダクタンスを読み取り、水～パネル間の熱コンダクタンス(固定値とみなす)を算出

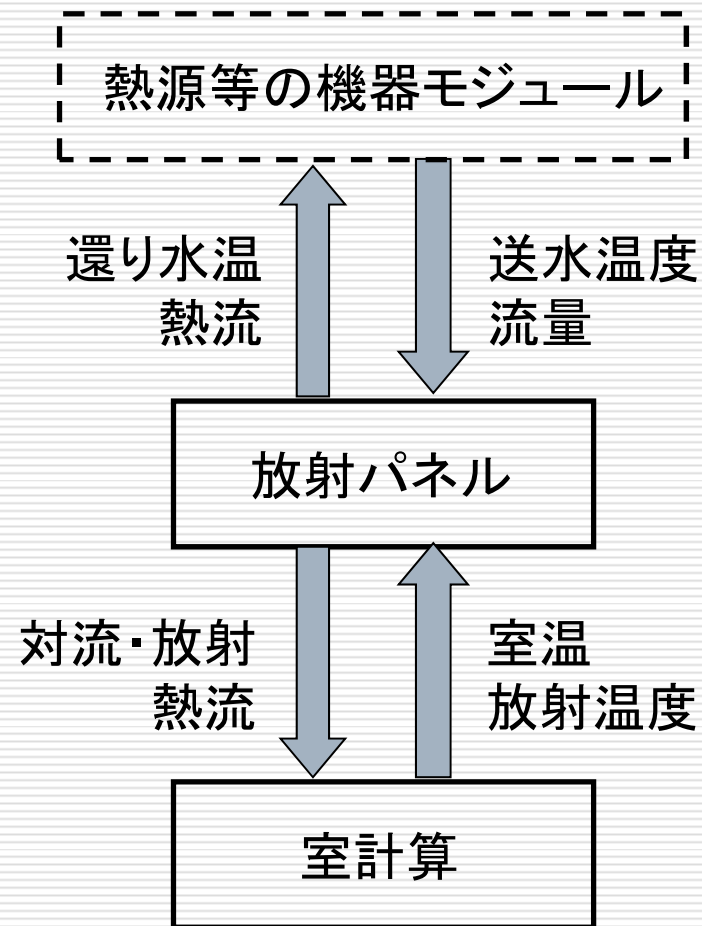
→BESTのモデルを紹介



# 放射パネルモジュールの概要

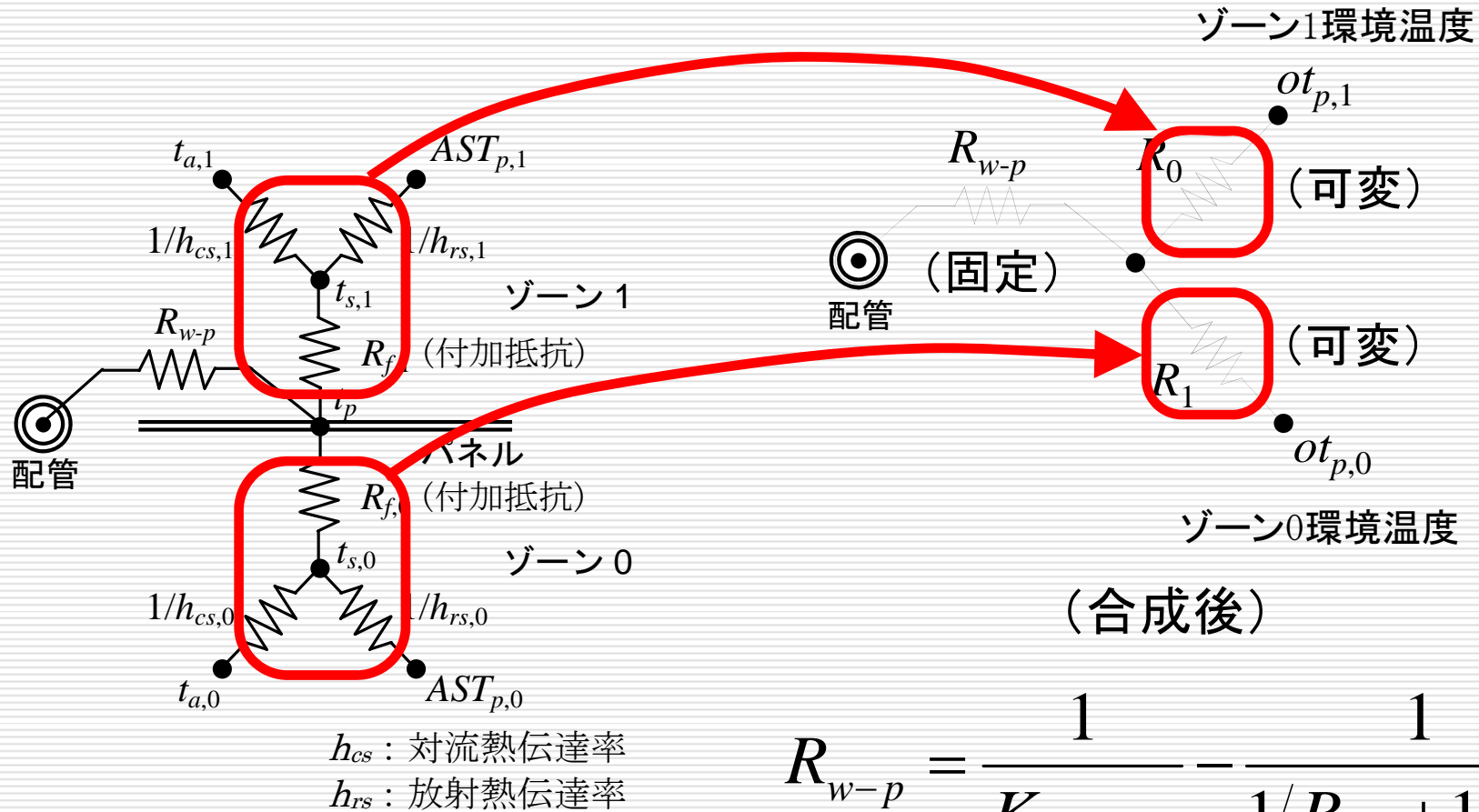


(熱回路網)



(他モジュールとの関係)

# 計算の概要(前処理)



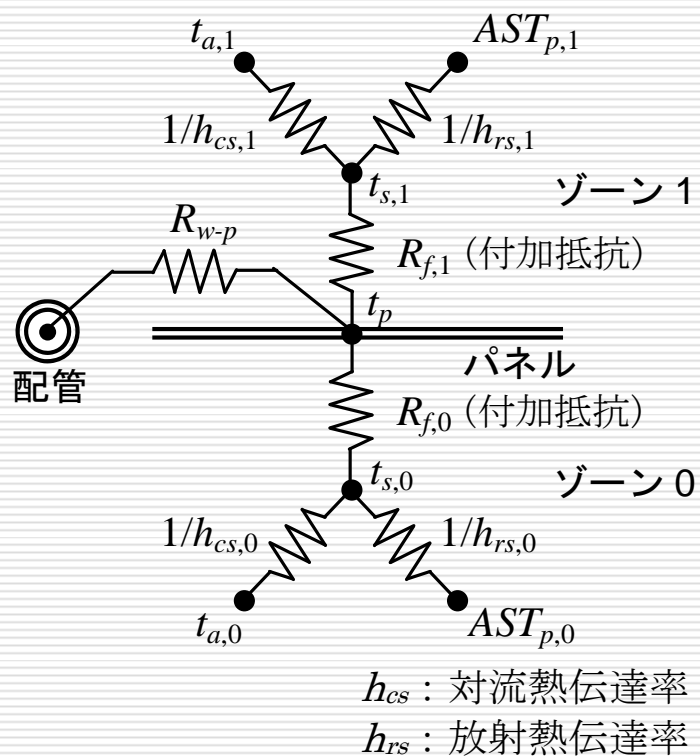
(合成前)

$$R_{w-p} = \frac{1}{K_{w-otp,t}} - \frac{1}{1/R_{0,t} + 1/R_{1,t}}$$

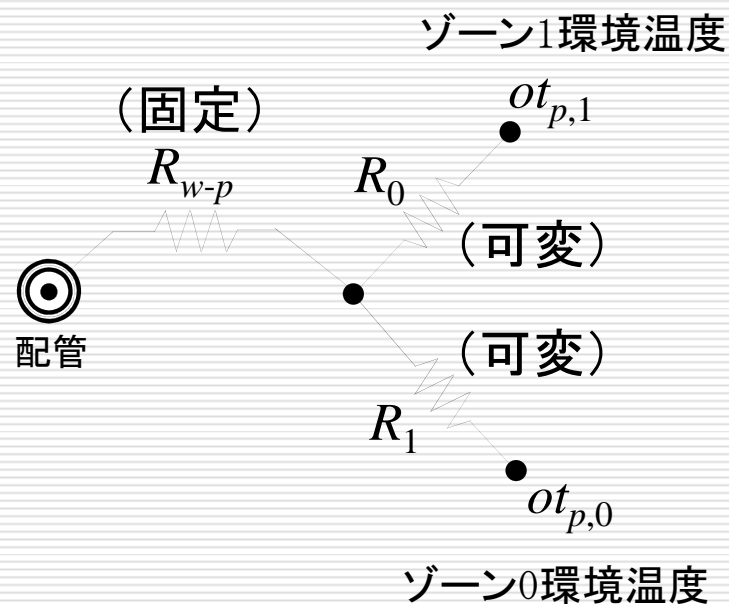
$K_{w-otp,t}$ : 試験結果から得られるコンダクタンス



# 計算の概要(時間ループ処理)



(合成前)



(合成後)

$$R_{w-p} = \frac{1}{K_{w-otp} \left( \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} \right)}$$

(固定)  $R_{w-p}$    (変化)  $1/R_0$    (変化)  $1/R_1$

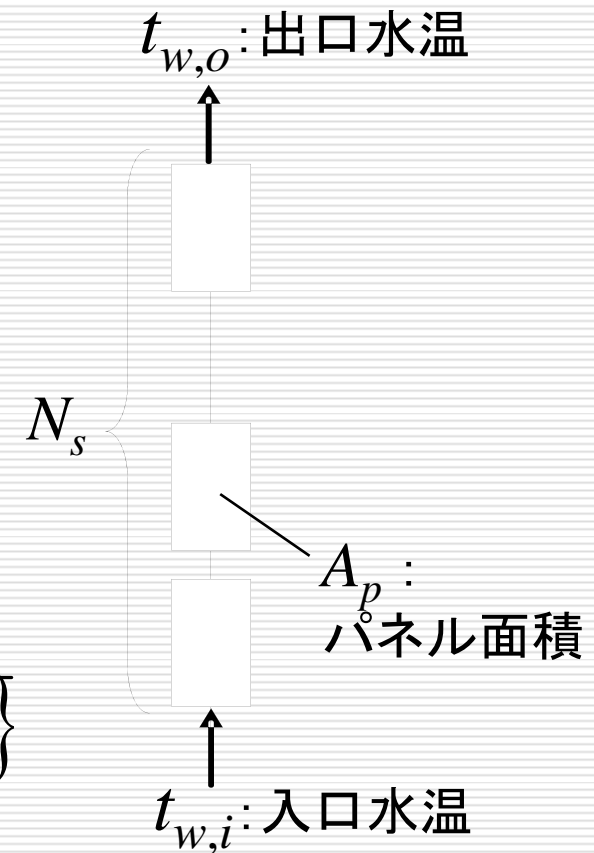
$K_{w-otp}$ : シミュレーション時のコンダクタンス

# 計算の概要(時間ループ処理)

1直列系統あたりの放熱量 $q_p$

$$\begin{aligned} q_p &= K_{w-otp} N_s A_p \cdot \Delta t_{w-otp} \\ &= c_w (t_{w,i} - t_{w,o}) \end{aligned}$$

$$\Delta t_{w-otp} = \frac{t_{w,i} - t_{w,o}}{\ln \left\{ \frac{t_{w,i} - ot_{p,2}}{t_{w,o} - ot_{p,2}} \right\}}$$



# 放射パネルモジュールのパラメータ・入出力

## パラメータ:

$A_p$ : パネル1枚あたり面積[m<sup>2</sup>]

$N_p$ : パネル並列系統数

$N_s$ : パネル直列接続数

$c_{pw}$ : 水の比熱[J/(g·K)]

$R_{f,0}, R_{f,1}$ : 固定付加熱抵抗値[m<sup>2</sup>K/W]

$\varepsilon_0, \varepsilon_1$ : パネル両面の長波放射率[-]

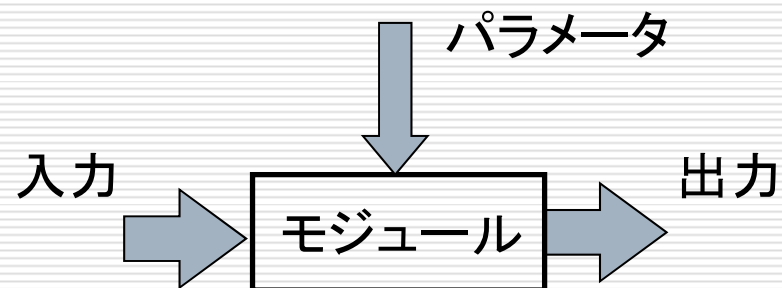
$h_{c,s}$ : パネル面の熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)] (冷却、加熱に対する、上向面、下向面、垂直面の計6つの値)

$face_0, face_1$ : 両面の向き ('up':上向き、'down':下向き、'vertical':垂直)

$K_{w-otp,t}$ : 試験時の熱コンダクタンス(パネル単位面積あたり) [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$inc_{r,0}, inc_{r,1}$ : 両側の温度が、性能線図の横軸(室温-水温)の「室温」に含まれるか否かのフラグ

$mode_t$ : 試験時の冷暖モード



# 放射パネルモジュールの入出力

---

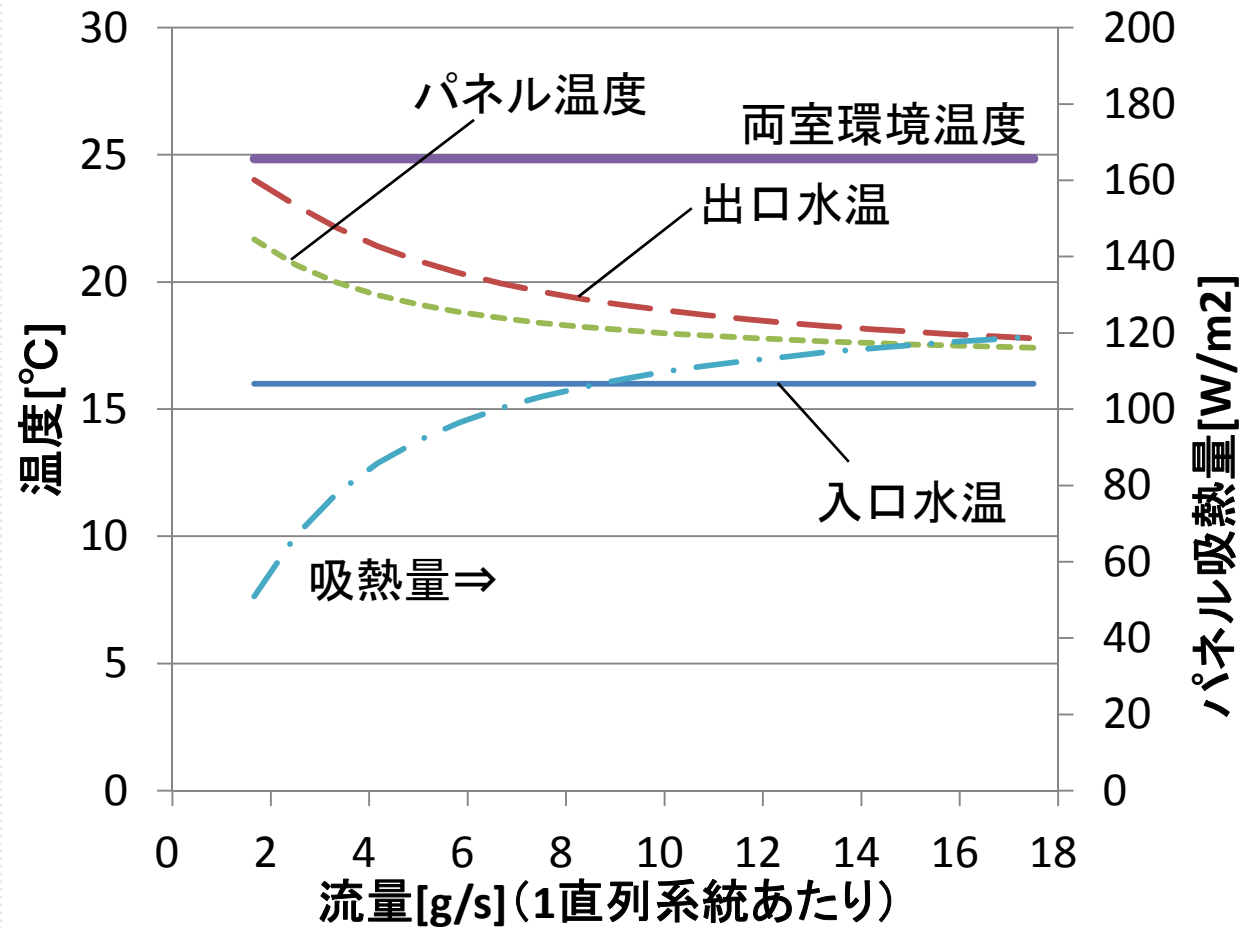
## 入力:

- $t_{w,i}$ : パネル系統全体の入口水温[°C]
- $m_w$ : パネル系統全体の入口流量[g/s]
- $t_{a,0}, t_{a,1}$ : 室内空気温度(ゾーン0, 1)[°C]
- $AST_{p,0}, AST_{p,1}$ : パネル用平均表面温度(ゾーン0, 1)[°C]
- $mode$ : 運転時の冷暖モード('cooling': 冷房、'heating': 暖房)

## 出力:

- $t_{w,o}$ : パネル系統全体の出口水温[°C]
  - $m_w$ : パネル系統全体の出口流量[g/s]
  - $q_{cs,0}, q_{cs,1}$ : パネル系統全体からの対流放熱量(ゾーン0, 1)[W]
  - $q_{rs,0}, q_{rs,1}$ : パネル系統全体からの放射量(ゾーン0, 1)[W]
  - $t_{s,0}, t_{s,1}$ : パネル表面温度
-

# モジュール単体によるテスト計算例



---

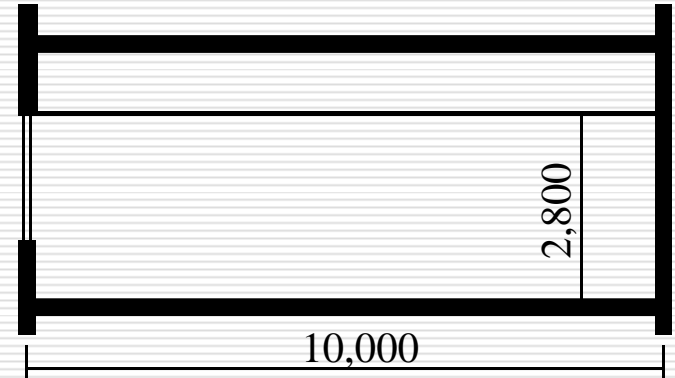
# 対流式と放射式の建物負荷比較

---

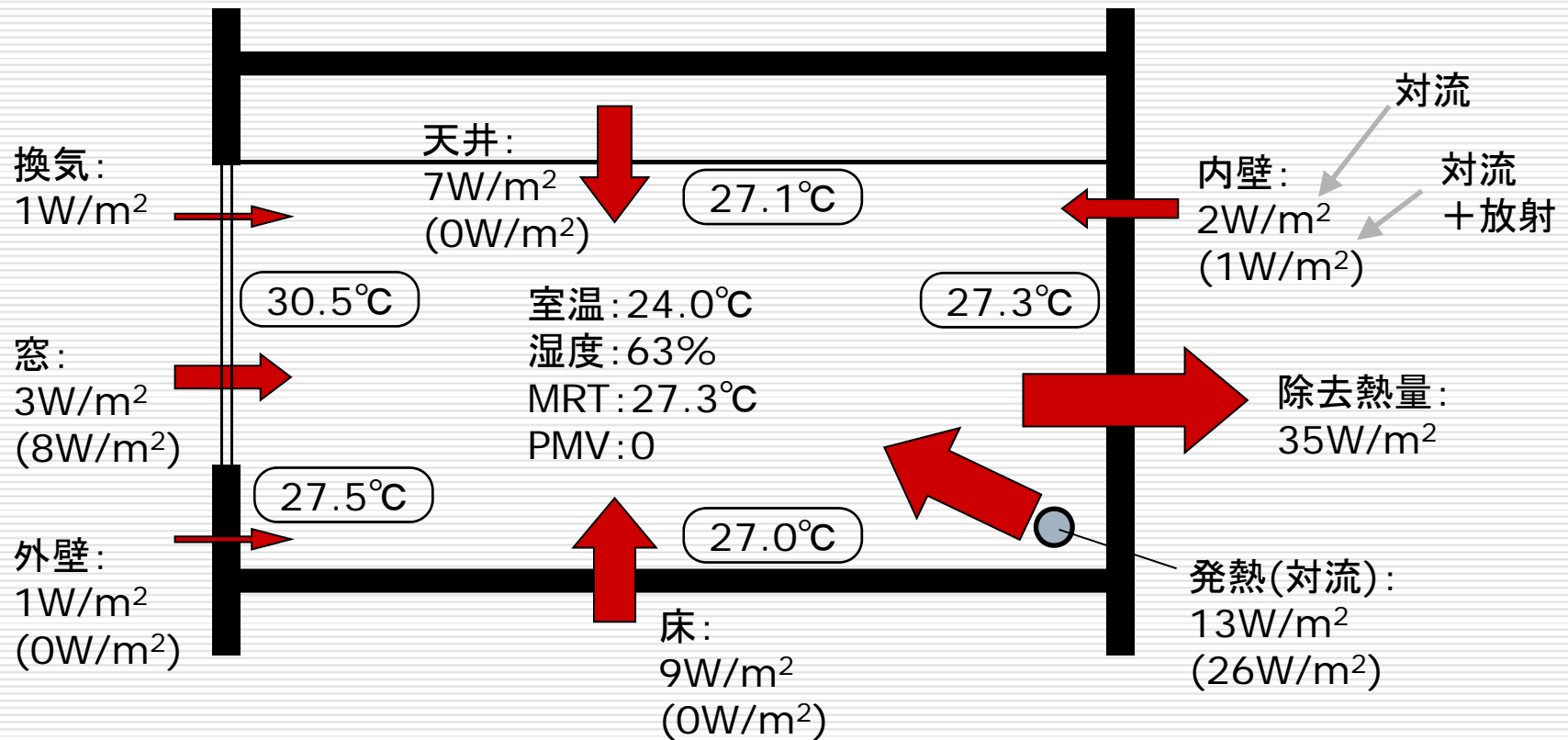
# 対流式と放射式の建物負荷比較

---

- TRNSYS17による定常計算
- 外界条件: 33°C、55%、日射なし
- 窓単板、窓面積率: 0.71
- 内部発熱: 照明+機器 20W/m<sup>2</sup>
- 放射パネル: 冷却能力 83W/m<sup>2</sup>、敷設率 100%、冷水入口温度 20°C
- 外気処理: 別系統給気 26°C, 0.01kg/kg(DA), 5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h
- PMV評価: 1.2Met, 0.3clo, 0.1m/s, 室中央座位



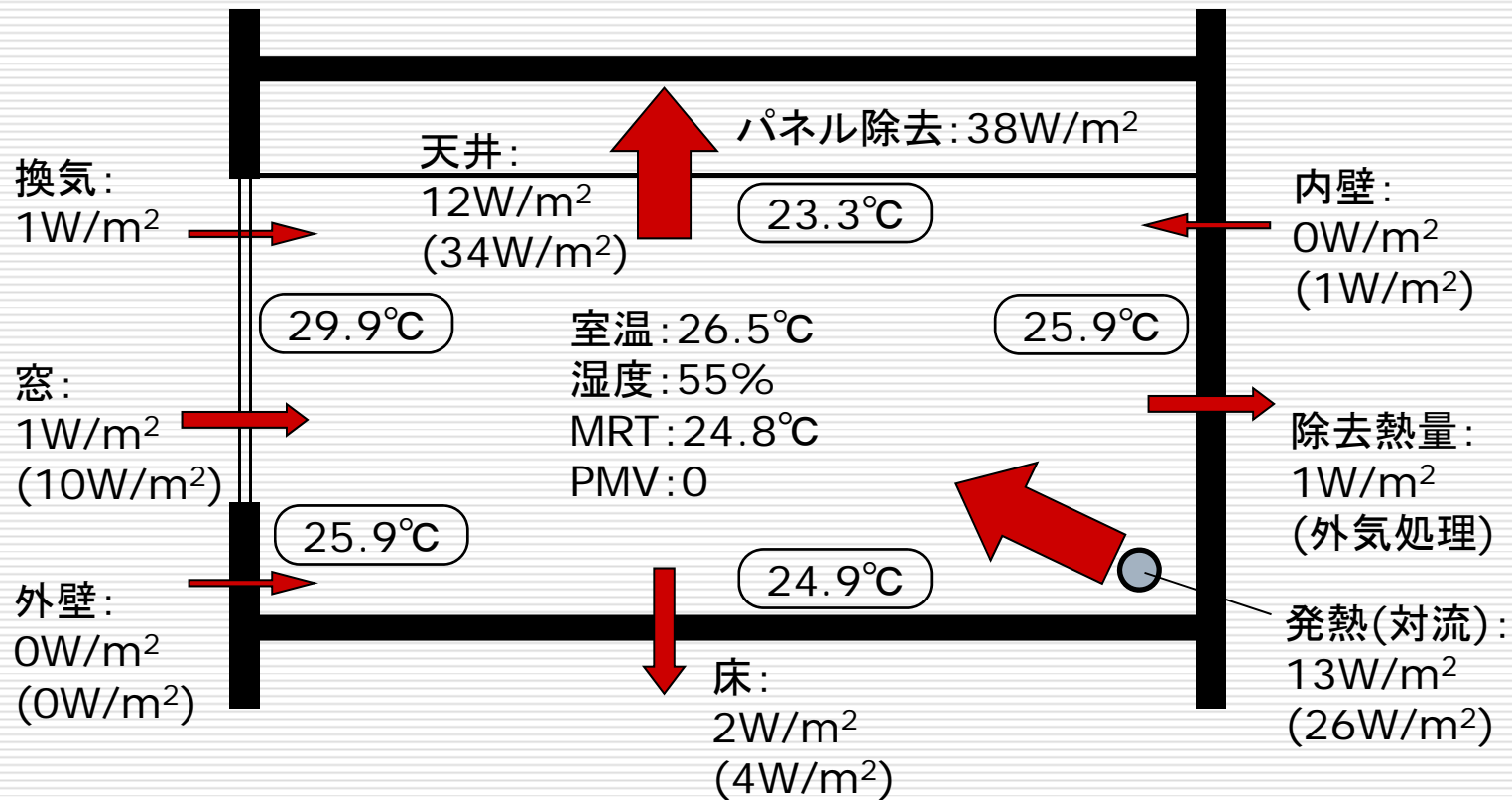
# 室顯熱收支(対流式)



(対流式)

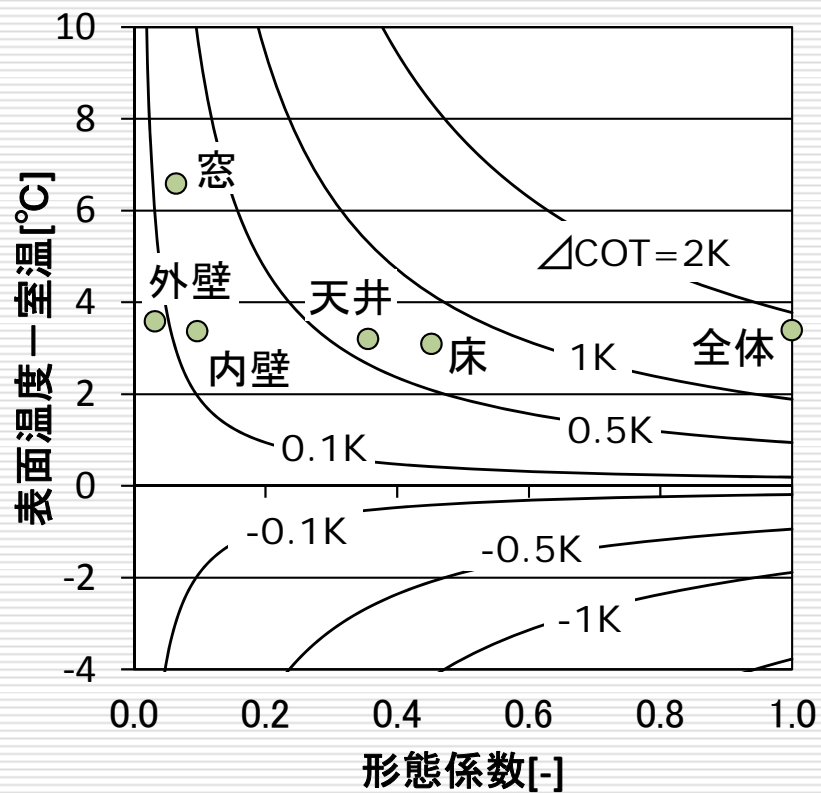


# 室顕熱収支(放射式)

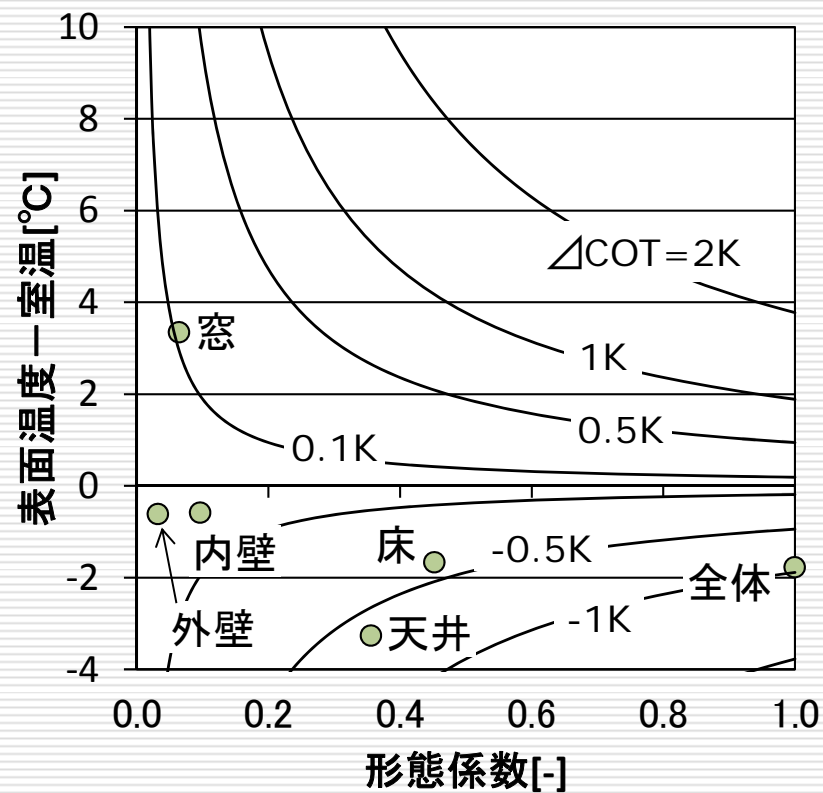


(放射式)

# 各部位の放射による作用温度の変化



(対流式)



(放射式)

# 対流式と比較した放射式の負荷特性

---

- 室温とMRTの関係が逆転
  - パネル面のみでなく室内表面全体の放射環境を調整
  - 外皮の断熱が弱いと熱損失に繋がる
  - 室温の緩和により、(外気、非空調隣接空間との)換気が多い条件では負荷的に有利
-

---

おわりに

---

# 放射冷暖房のエネルギー計算の今後

---

- 関連機器、制御等の評価体系の整備
  - 省エネルギー基準への対応
  - パネル性能試験およびその表示方法の統一
  - 設計へのフィードバックが可能なツール開発
-