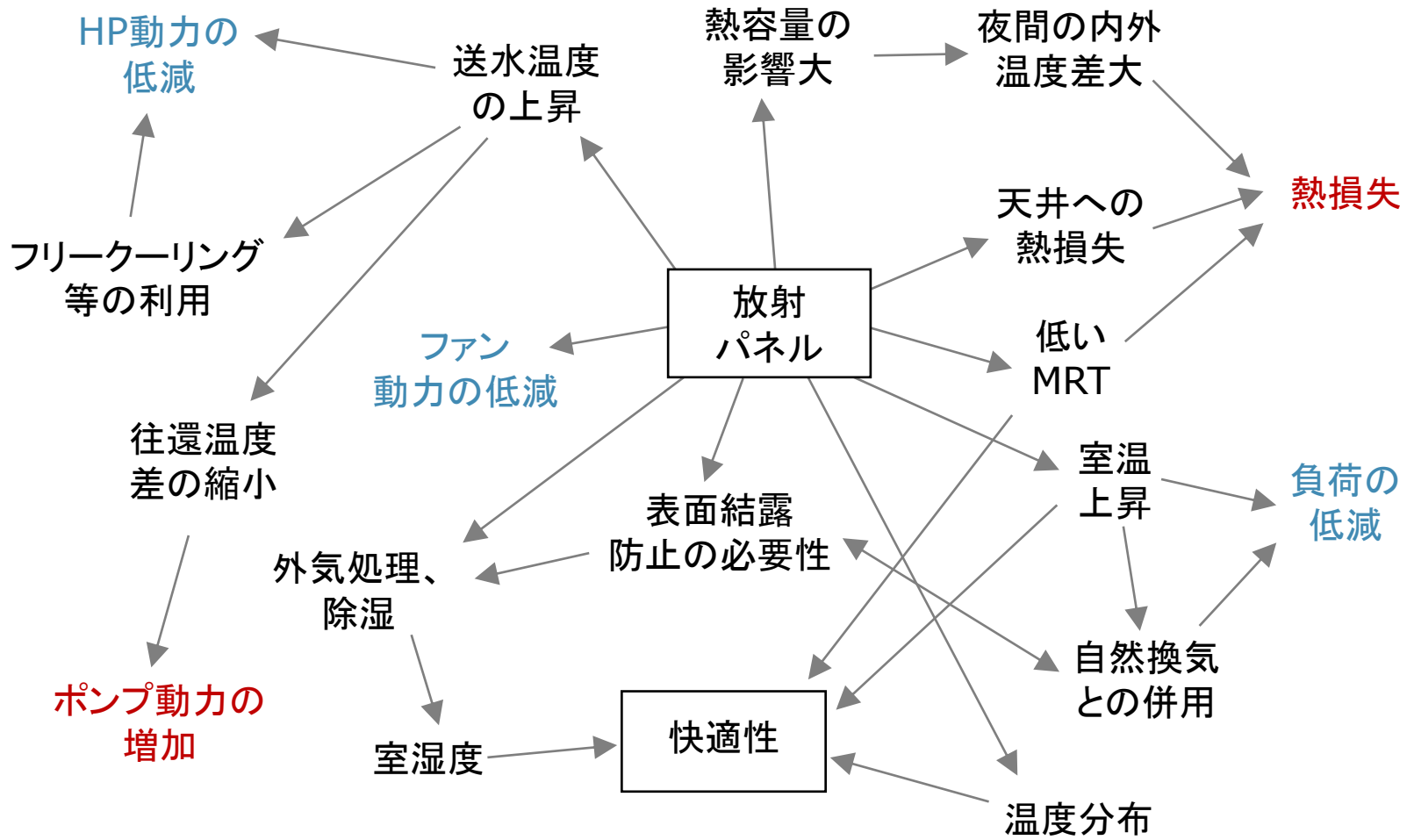


放射・輻射冷暖房の消費エネルギー性能

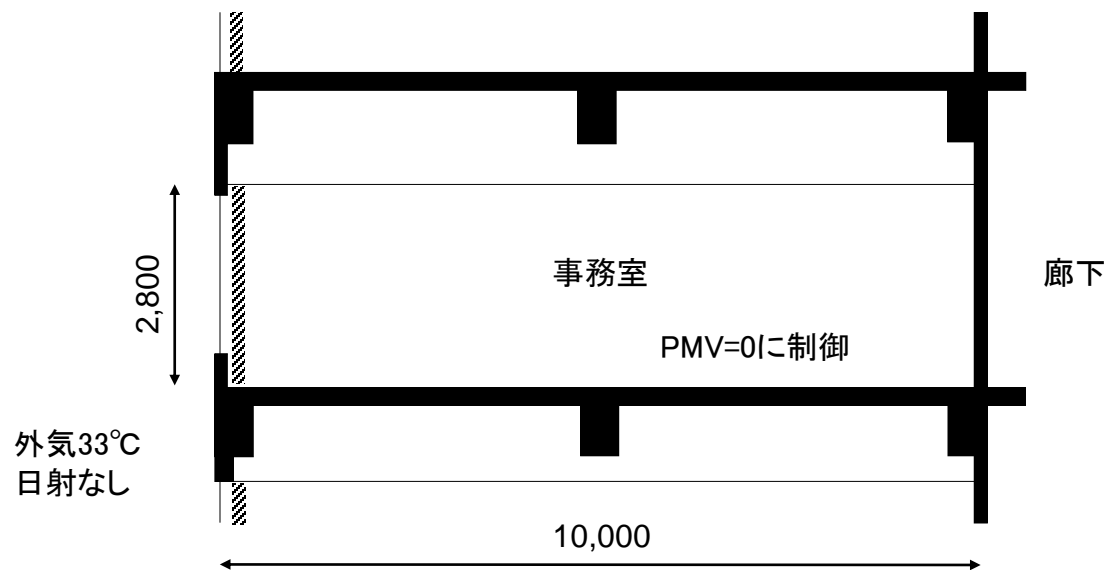
東京理科大学 長井 達夫

放射空調のエネルギー増減の因果関係



対流式と放射式の室内熱収支比較

TRNSYSによる対流式 vs 放射式の比較（定常計算）



部材構成（カッコ内の「 R 」は部材の熱抵抗 $[(m^2 \cdot K)/W]$ ）

- 外壁：硬質ウレタン25mm、RC150他（ $R=1.32$ ）
- 窓：単板ガラス、窓面積率0.71（CHに対して）
- 内壁：RC150（反対側は28°C一定）（ $R=0.09$ ）
- 天井・床：OAフロア25 + 中空層 + RC150 + 中空層 + 天井（ $R=0.20$ ）

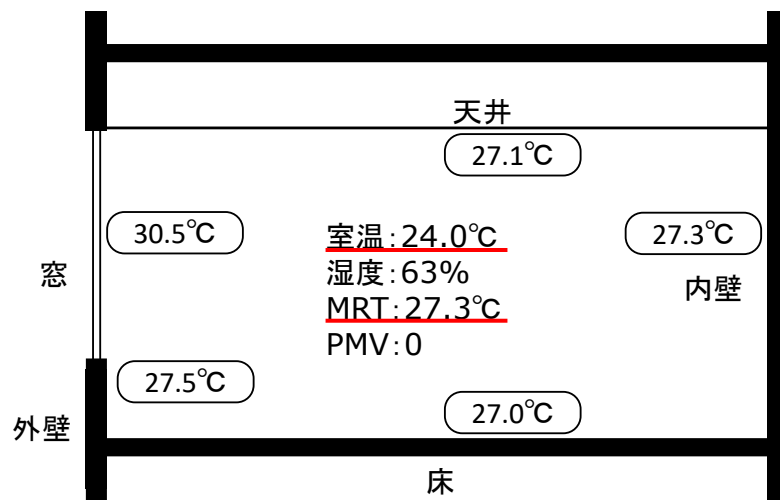
内部発熱

- 照明・機器発熱：20W/m²（対流：放射=0.45:0.55）
- 在室人員：0.1人/m²

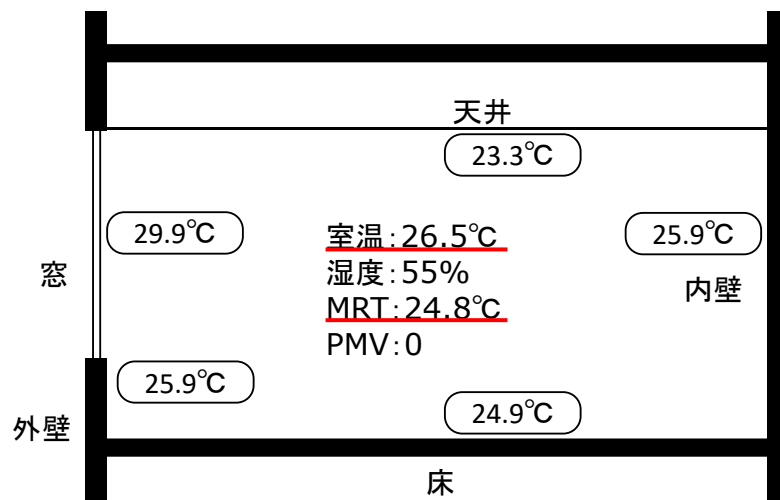
空調仕様

- 天井放射パネル：冷却能力83W/m²
- 外気処理：別系統処理、吹出26°C.0.01kg/kg(DA)、5m³/m²h固定

対流式と放射式の比較（室状態、内表面温度）

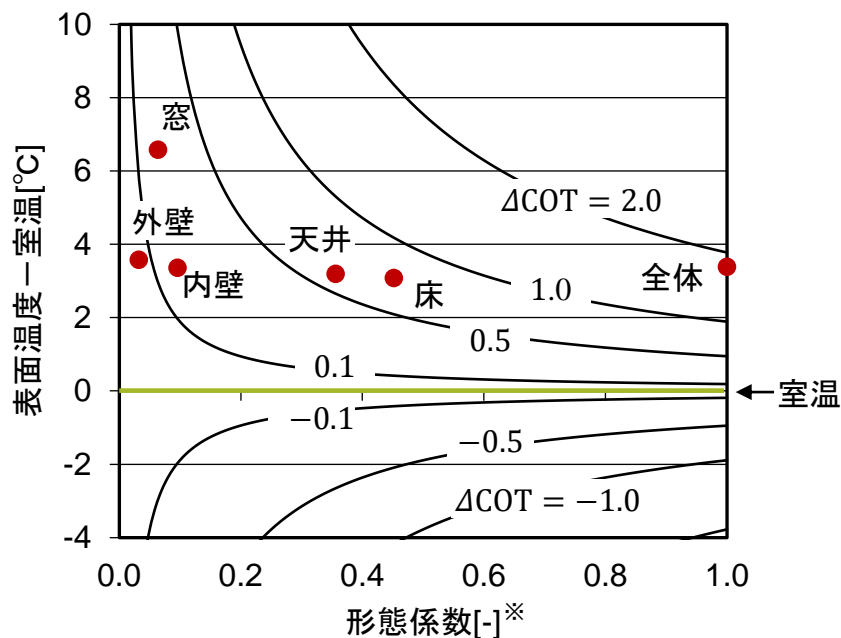


対流式

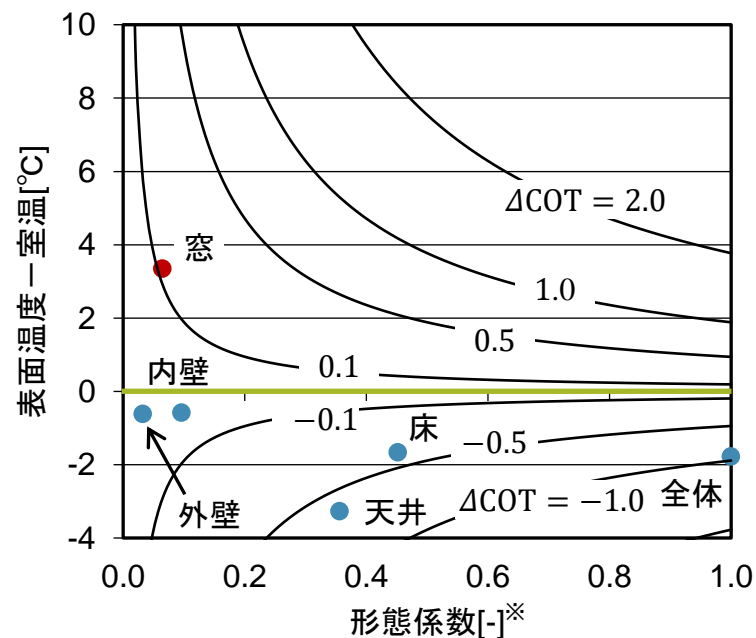


放射式

対流式と放射式の比較（各部位の作用温度への影響）



対流式



放射式

※ 室の中央部(椅子座)での形態係数

$$OT = x_R \cdot \sum_i F_i \cdot \theta_{s,i} + (1 - x_R) \cdot \theta_R$$

$$\Delta COT_i \equiv x_R \cdot F_i \cdot (\theta_{s,i} - \theta_R)$$

(各面の加熱・冷却効果量)

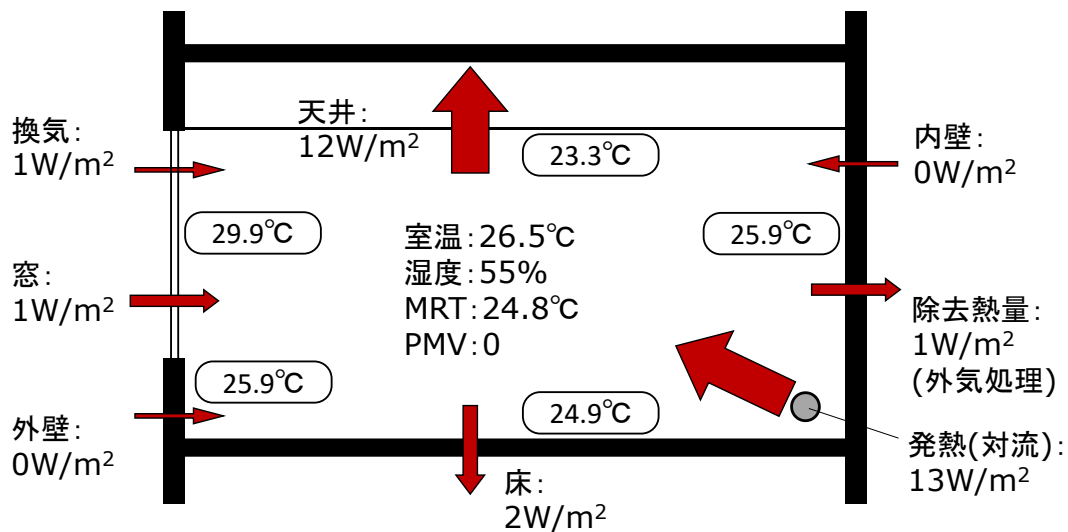
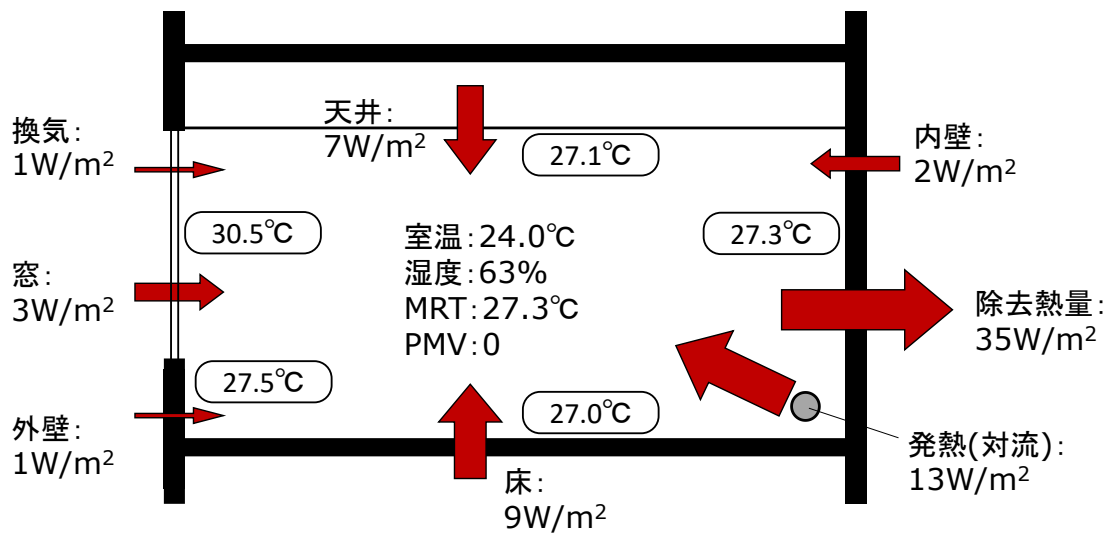
$$x_R = \alpha_r / (\alpha_c + \alpha_r) \quad (\text{放射割合})$$

$\theta_{s,i}$: 面*i*の表面温度

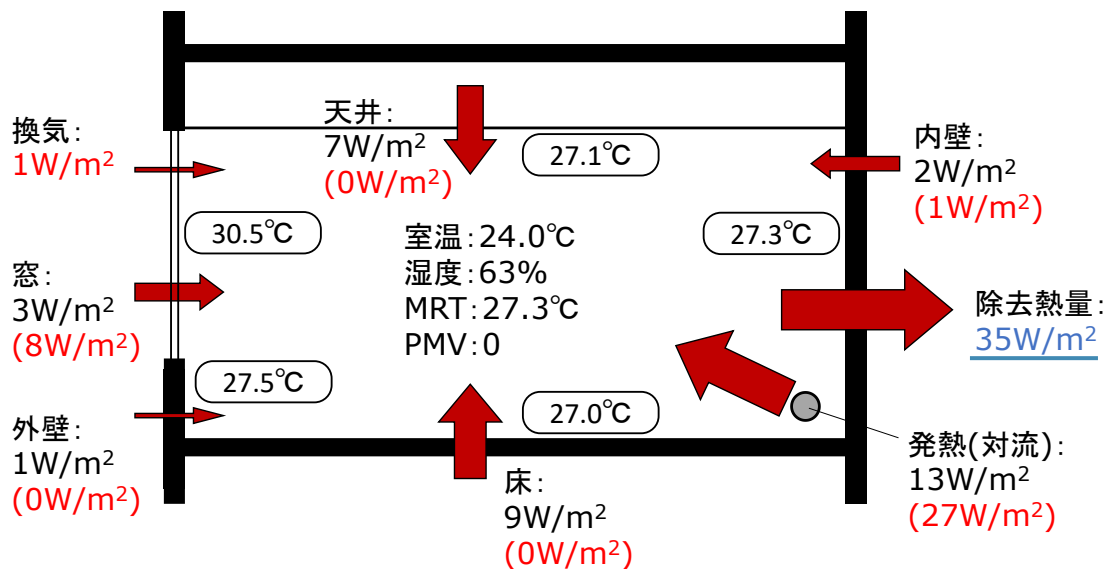
θ_R : 室空気温度

F_i : 人体から面*i*への形態係数

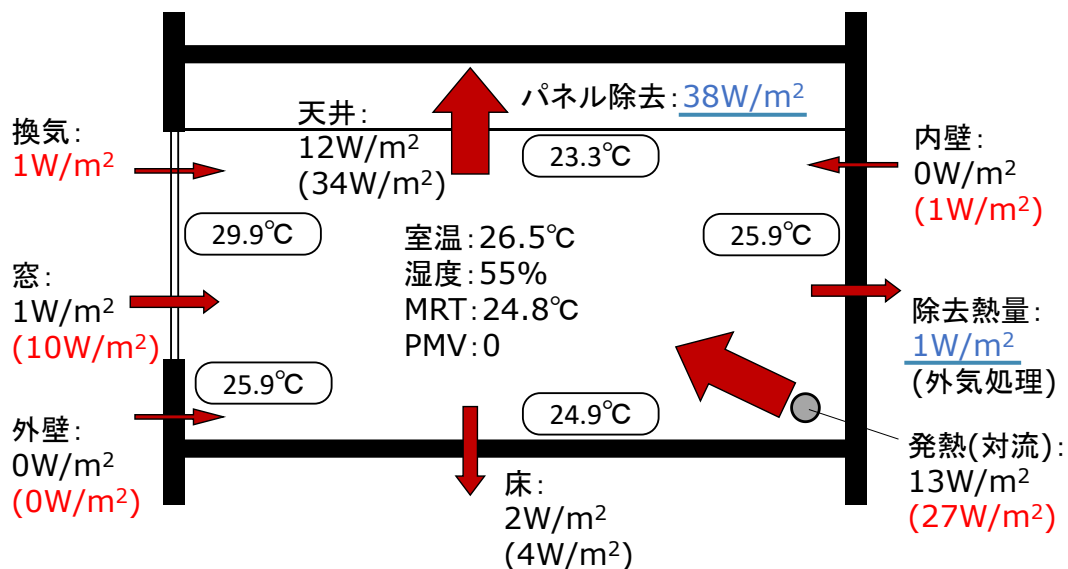
対流式と放射式の比較（顕熱、対流成分熱収支）



対流式と放射式の比較（顕熱、対流＋放射熱収支）



対流式



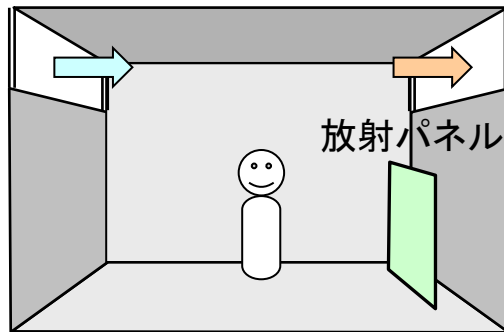
放射式

対流式と比較した放射式の負荷特性

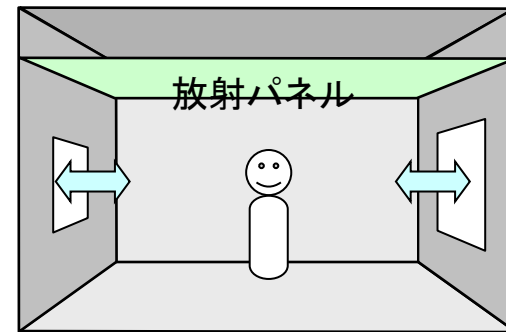
- 室温とMRTの関係が逆転
- パネル面のみでなく室内表面全体で放射環境を調整
- 外皮の断熱が弱いと熱損失に繋がる
- 室温の緩和により、（外気、非空調隣接空間との）換気が多い条件では相対的に有利

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で放射環境を調整
 - 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相対的に有利
- 自然換気との併用も可能？

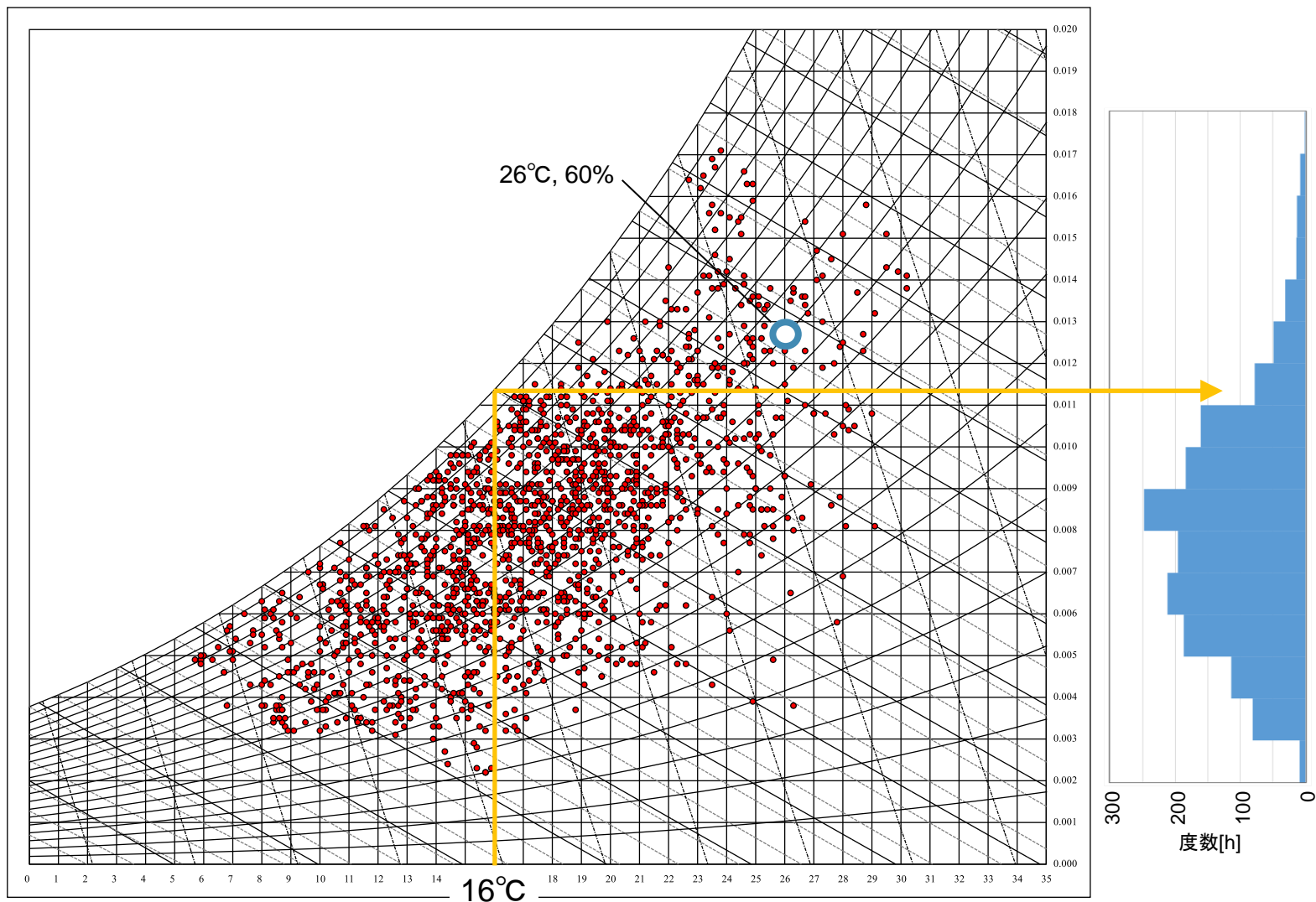


自然換気併用タスク放射冷房



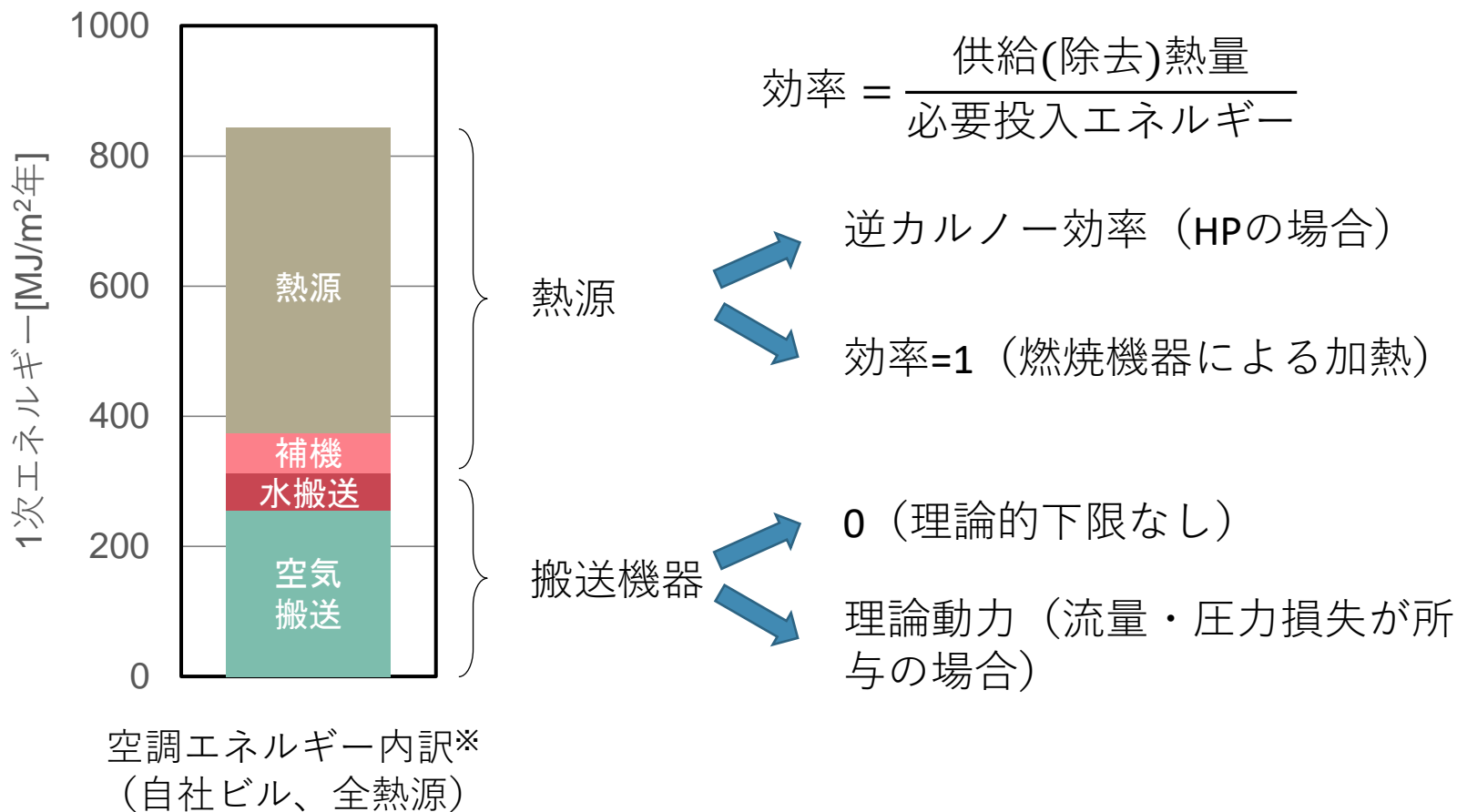
住宅における通風併用放射冷房

東京標準年5, 6, 9, 10月の8-20時の時刻別外気状態



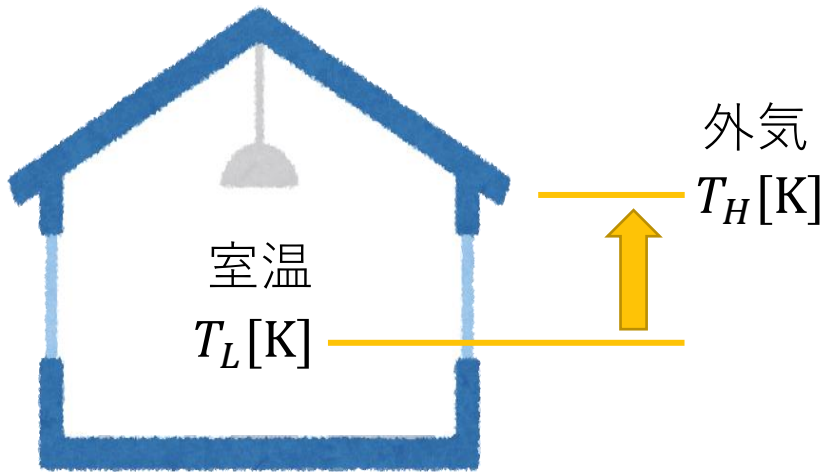
放射式の省エネルギーポテンシャル

省エネルギーの限界はいくら？



※数値は省エネルギーセンター https://www.eccj.or.jp/office_bldg/01.htmlを参照

省エネルギーの限界はいくら？



$$\text{効率} = \frac{\text{供給(除去)熱量}}{\text{必要投入エネルギー}}$$

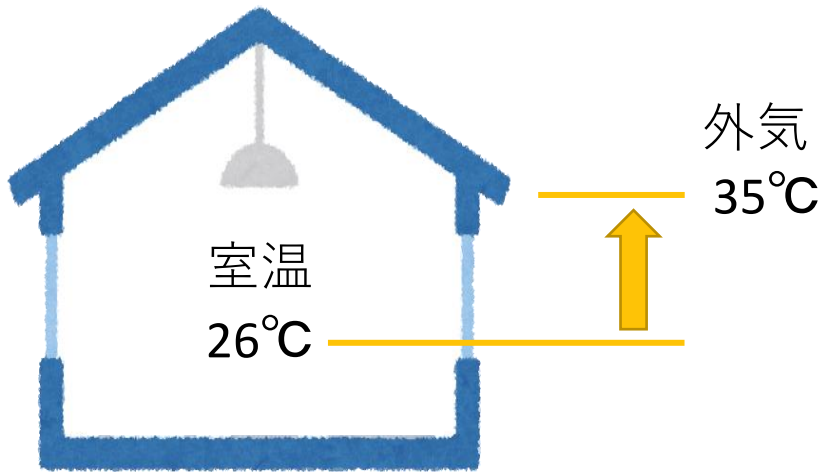
逆カルノー効率(COP)

$$= \frac{T_L}{T_H - T_L} \cong \frac{T_{ref}(= 293\text{K等})}{T_H - T_L}$$

下限エネルギー消費($\propto 1/\text{COP}$)

$$\propto T_H - T_L \quad (\text{内外温度差})$$

省エネルギーの限界はいくら？



$$\text{効率} = \frac{\text{供給(除去)熱量}}{\text{必要投入エネルギー}}$$

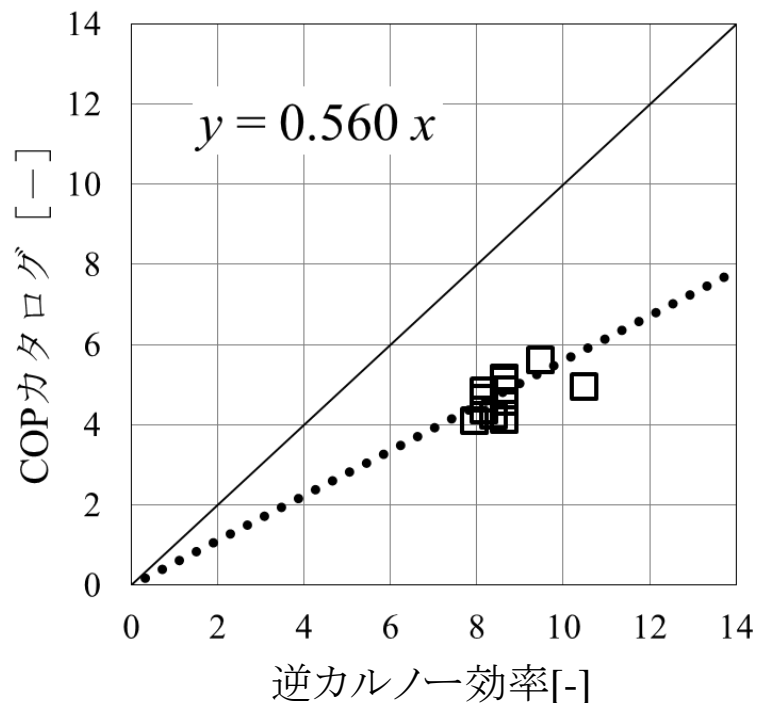
逆カルノー効率(COP)

$$= \frac{26 + 273 \text{ K}}{35 - 26 \text{ K}} \cong 33$$

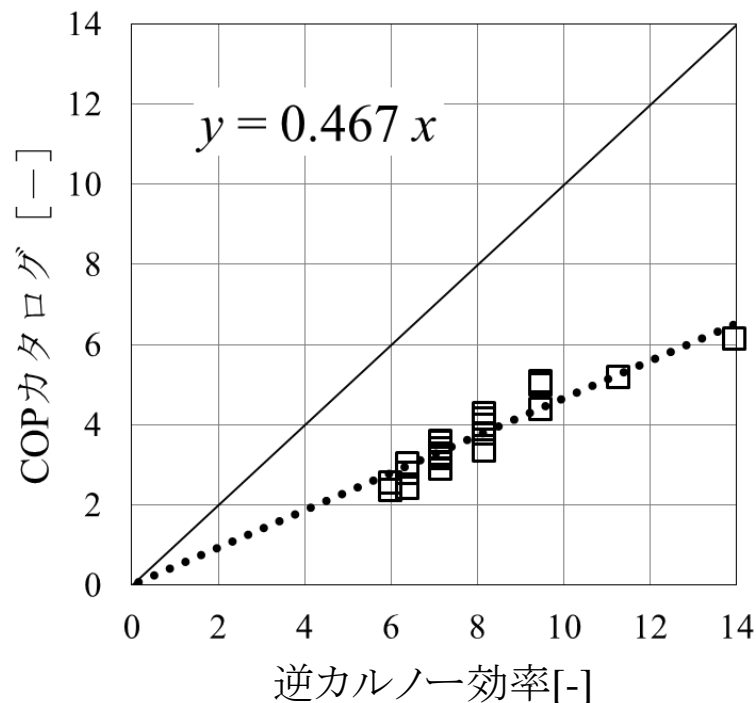
下限エネルギー消費($\propto 1/\text{COP}$)

$$\propto T_H - T_L \quad (\text{内外温度差})$$

逆カルノーサイクル効率の利用



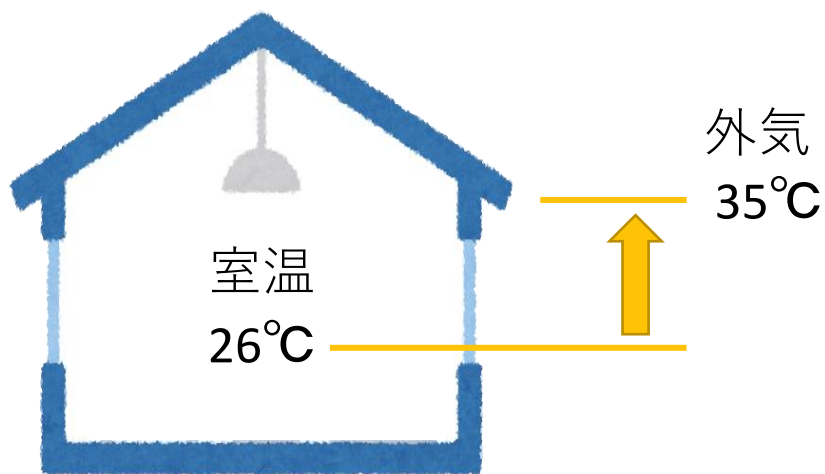
WHP
(水熱源ヒートポンプ)



AHP
(空気熱源ヒートポンプ)

※ カタログから読み取ったHP出口水温、熱源水側入口温度より、蒸発温度、凝縮温度を推定したのに対して逆カルノー効率を算出

熱源内部の損失を考慮した省エネルギーの限界



$$\text{効率} = \frac{\text{供給(除去)熱量}}{\text{必要投入エネルギー}}$$

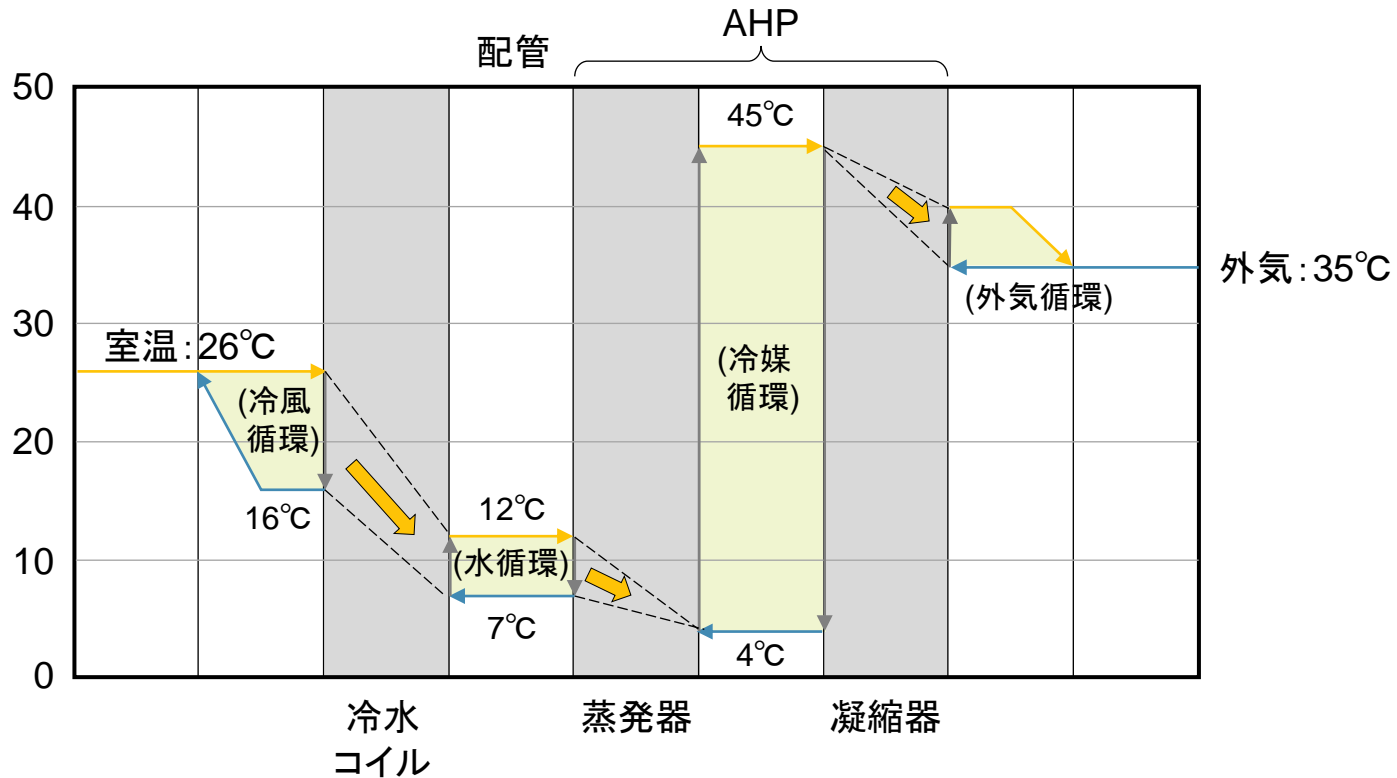
逆カルノー効率(COP)

$$= \frac{26 + 273 \text{ K}}{35 - 26 \text{ K}} \cong 33$$

$$\rightarrow 33 \times 0.467 \cong 16$$

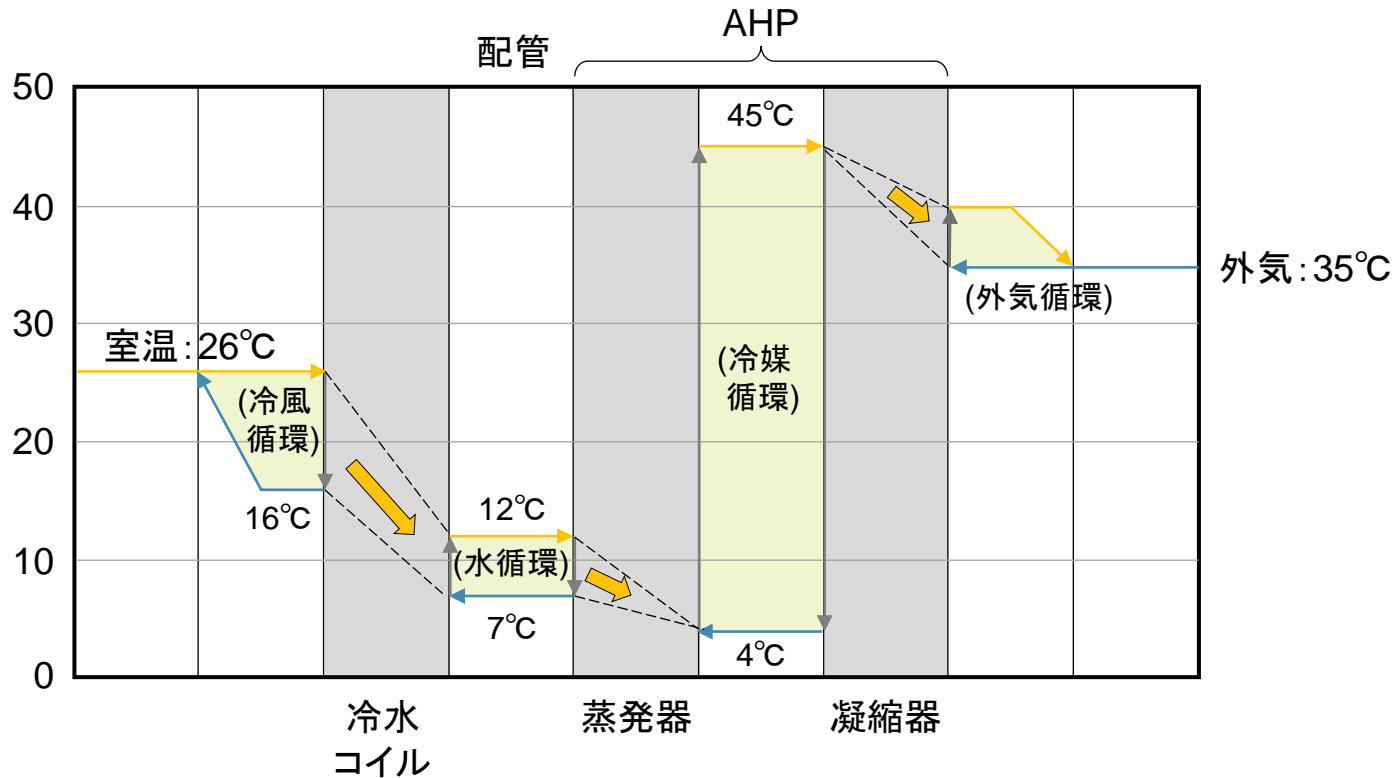
(0.467: 流通しているAHPにおけるCOP/逆カルノー効率)

対流式空調の各部温度の例



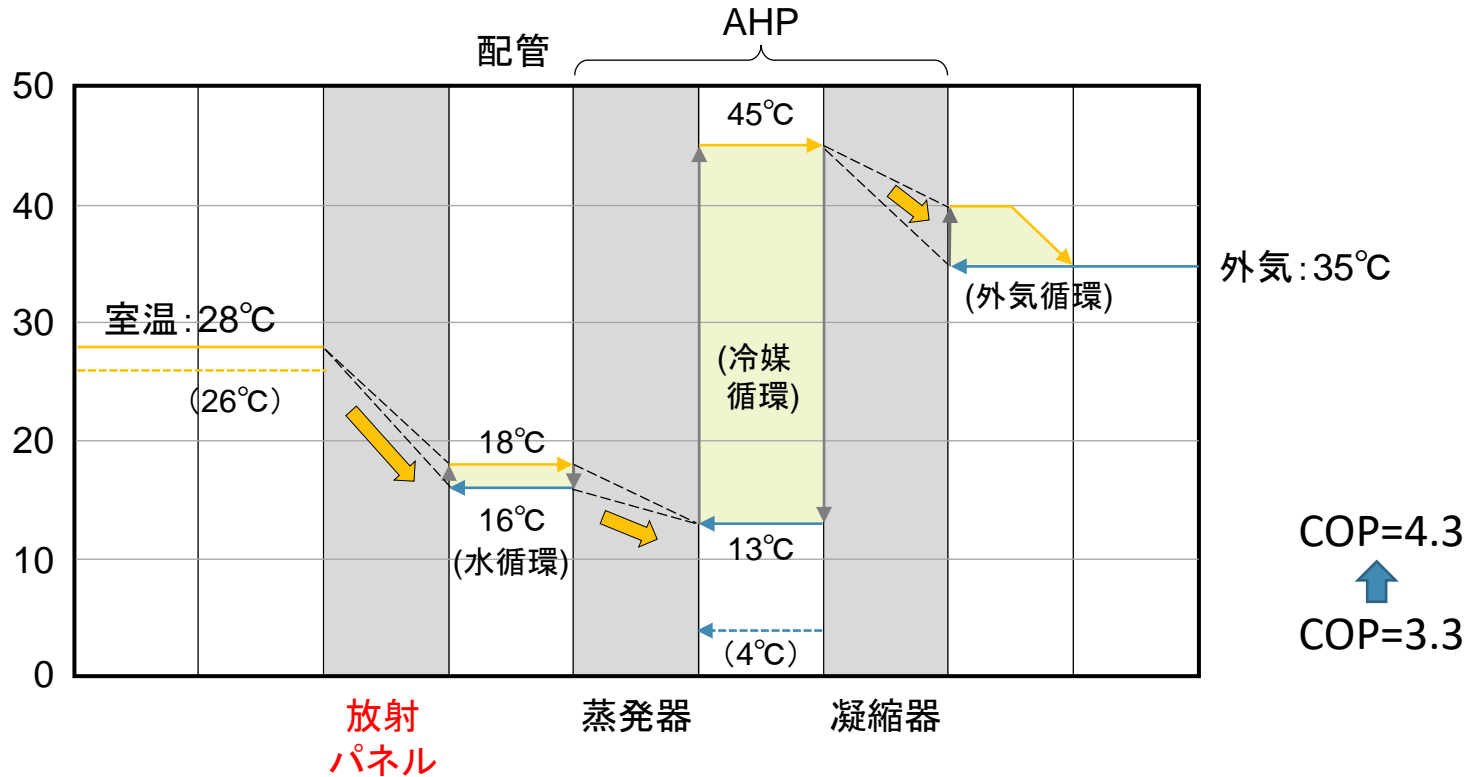
- 熱交換器は受動的機器であり、高温→低温側に熱を伝える
- 熱交換器による温度低下の分だけHPの「汲み上げ温度差」が拡大
汲み上げ温度26→35°Cに対するCOP=16のところ、4→45°Cに対するCOP=3.3になってしまう

熱交換器における温度低下が生じる事情



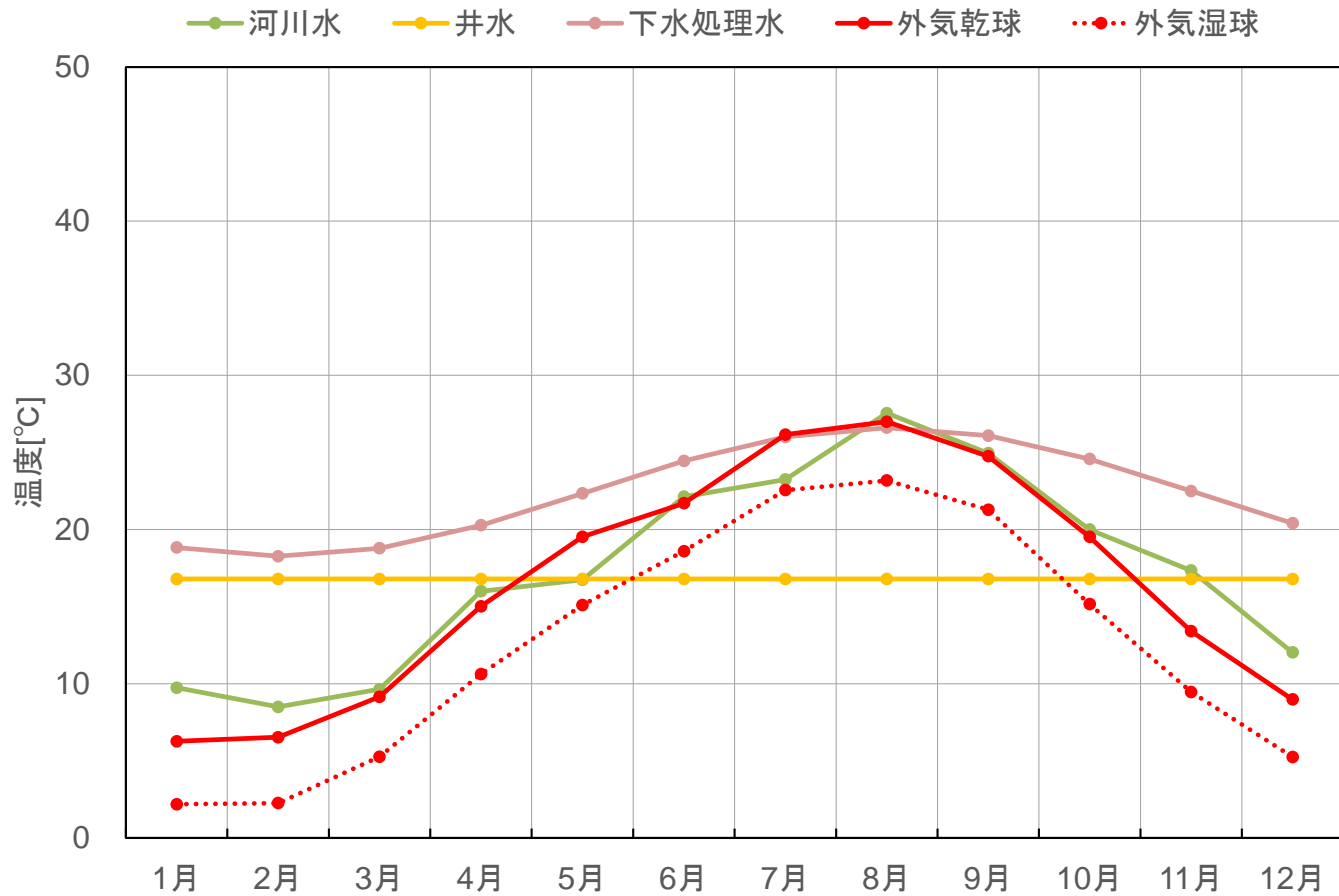
- 伝熱面積、スペースの制約
- 除湿の必要性
- 空気・水搬送動力とのバランス

熱交換器における温度低下が生じる事情と放射式による改善



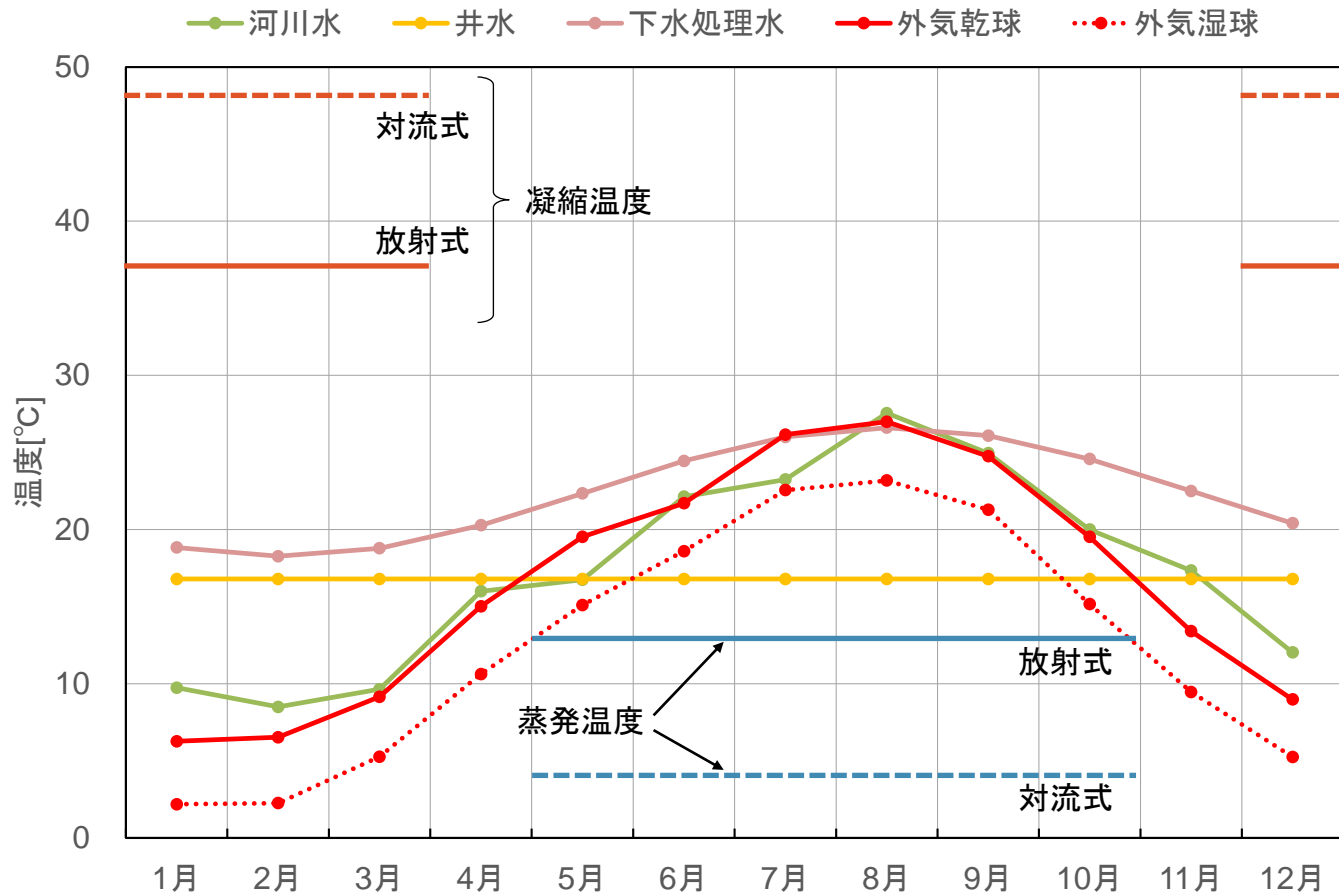
- 伝熱面積、スペースの制約 → 室側「熱交換器」の建築化
- 除湿の必要性 → 外気処理は別途 (DOAS)
- 空気・水搬送動力とのバランス → //
- (更なる改良のためには...) → 放射パネルの伝熱促進、送水温度制御
- 熱源の水冷化、再生可能エネルギー利用

再生可能エネルギー（熱源水等）の利用



東京の各種未利用エネルギーの月別平均温度

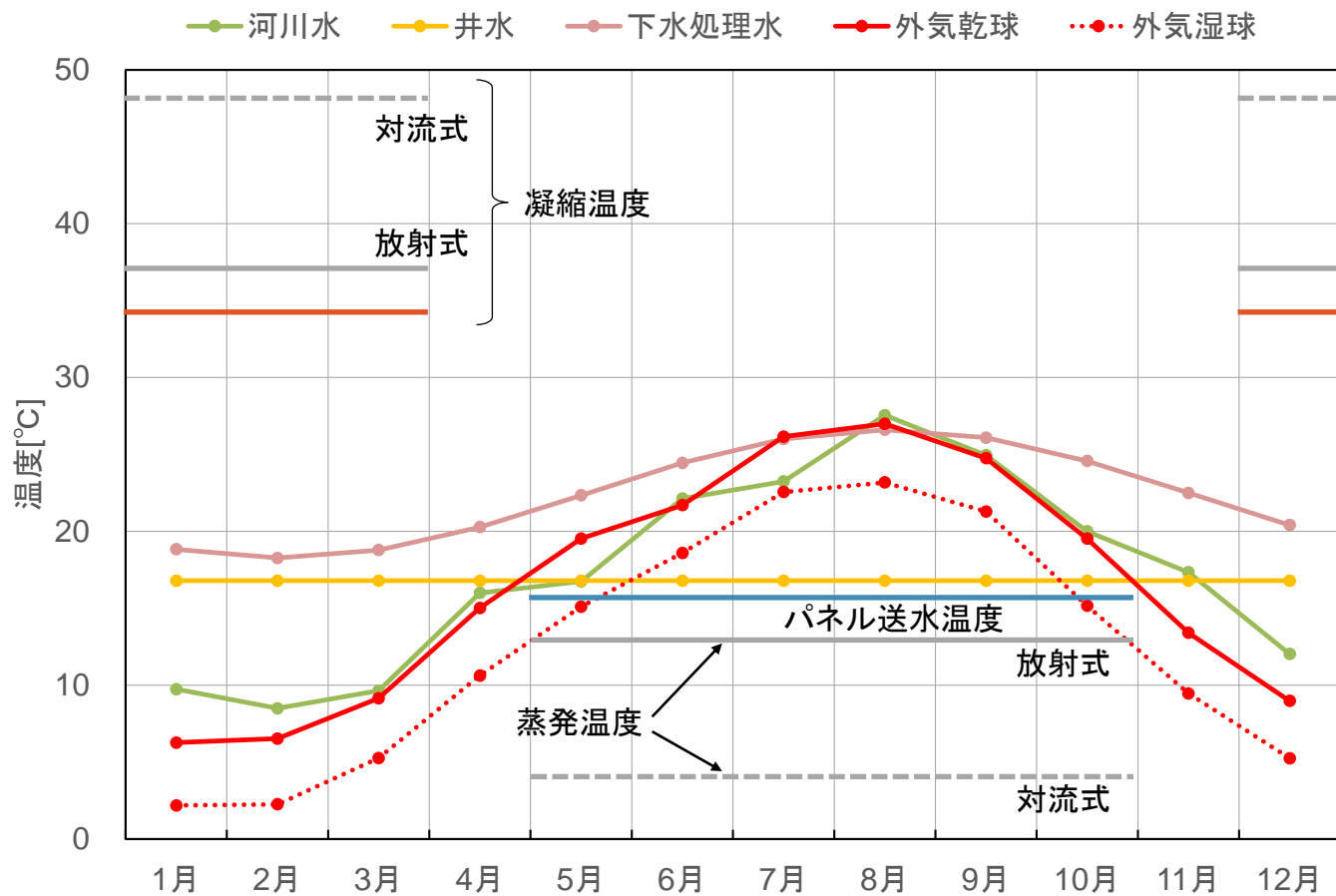
再生可能エネルギーのHP熱源水としての利用



東京の各種未利用エネルギーの月別平均温度

- 放射式の方が、未利用エネルギー導入時のHP動力削減率は大きくなる

再生可能エネルギーの直接利用



東京の各種未利用エネルギーの月別平均温度

- 未利用エネルギーの直接利用には送水温度の緩和、あるいは冷凍機とのカスケード利用等が必要

省エネ空調システムへの取り組み

