

放射空調による低エクセルギー システムの実現と展望

東京理科大学 長井 達夫

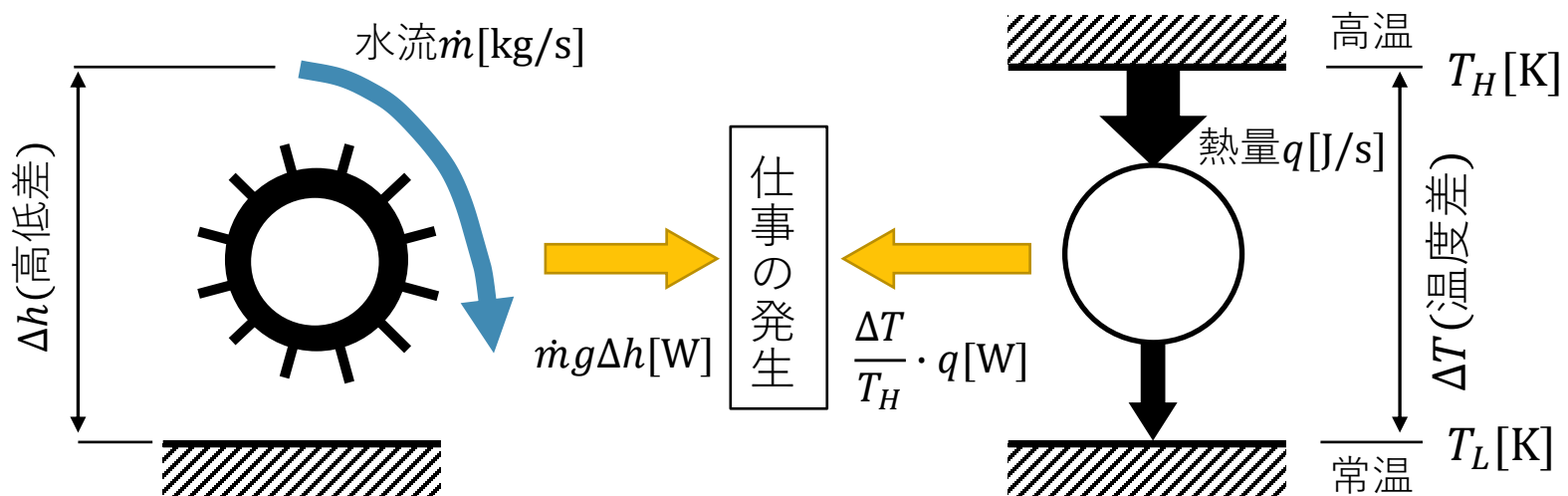
放射空調による低エクセルギーシステムの実現と展望

- 空調における低エクセルギーシステムとは？
- 低エクセルギーシステムとしての放射空調
- 放射式における省エネルギー化への更なる取り組み

低エネルギー空調システム

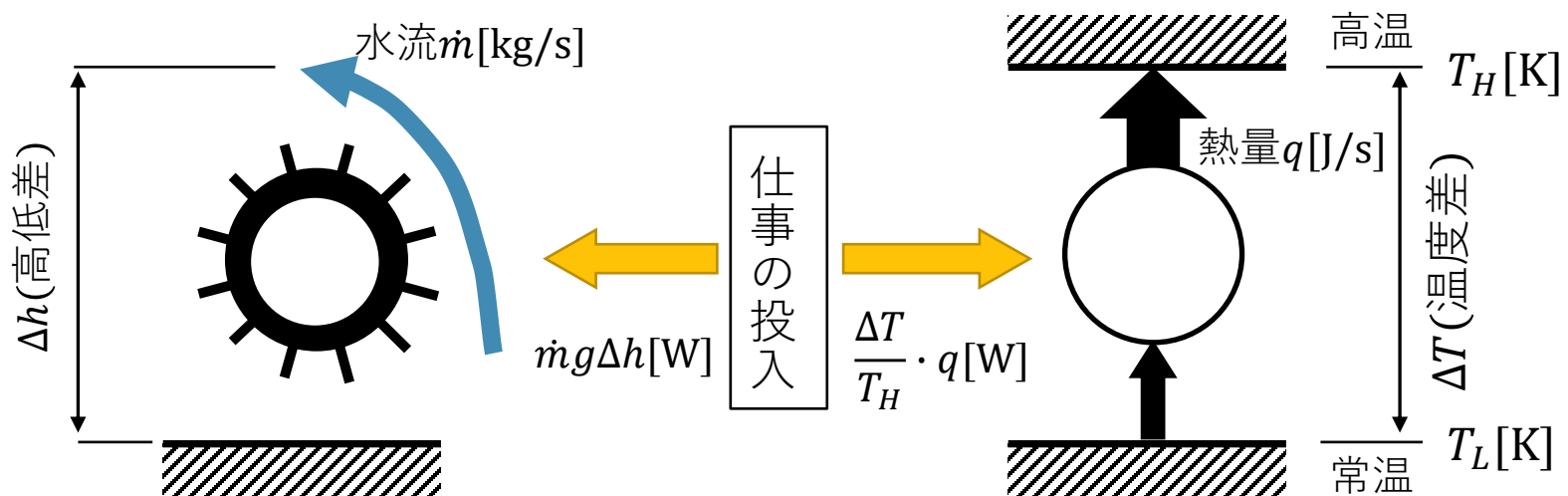
エクセルギー（熱機関により取り出せる機械的仕事）

- エネルギーの持つ有効性（[J]あるいは[W]）… 具体的にはそのエネルギーから取り出すことのできる機械的仕事の理論値
- 同じエネルギーでも常温から離れたエネルギーほど有効性大



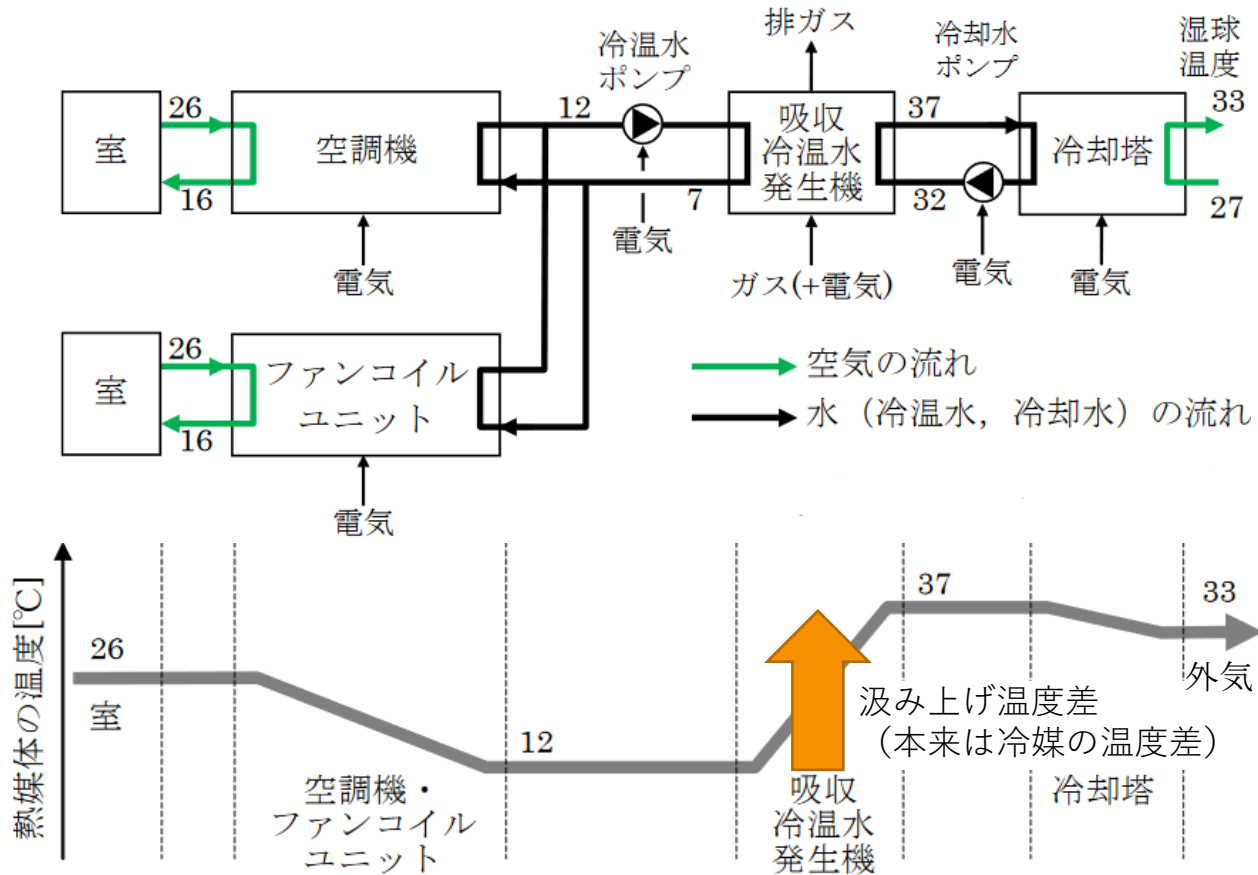
エクセルギーとヒートポンプの理論動力

- ヒートポンプ：熱機関を「逆回転」させたもの
- 同じエネルギーでも常温から離れたエネルギーほど投入仕事大
(低いエクセルギーの熱を造る方が効率的)



空調システムにおける熱源動力

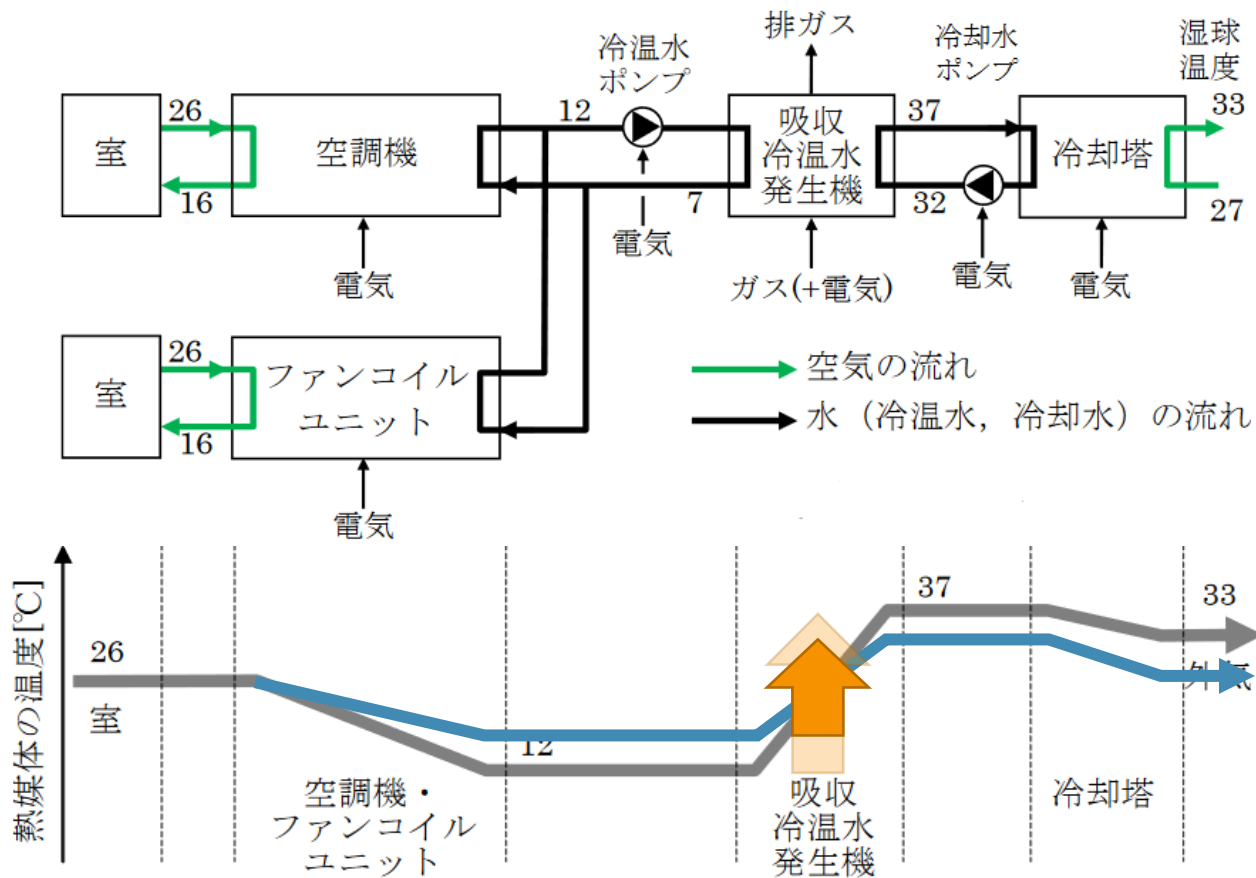
- ヒートポンプ動力は「汲み上げる温度差」に依存（ほぼ比例）



※ 冷房時に室から外気へ向かう熱媒体の温度変化の例

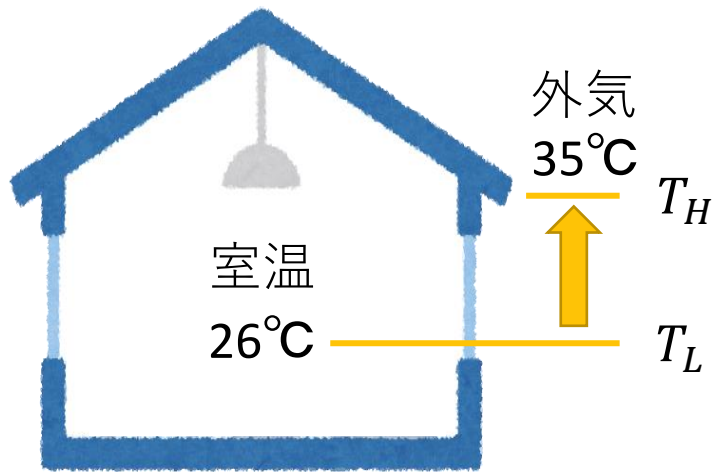
空調における「低エクセルギーシステム」

- 系内の最高温度と最低温度の差を小さく取ることを指向したシステム



低エネルギーシステムとしての放射空調

冷房時ヒートポンプのCOP（理想値）

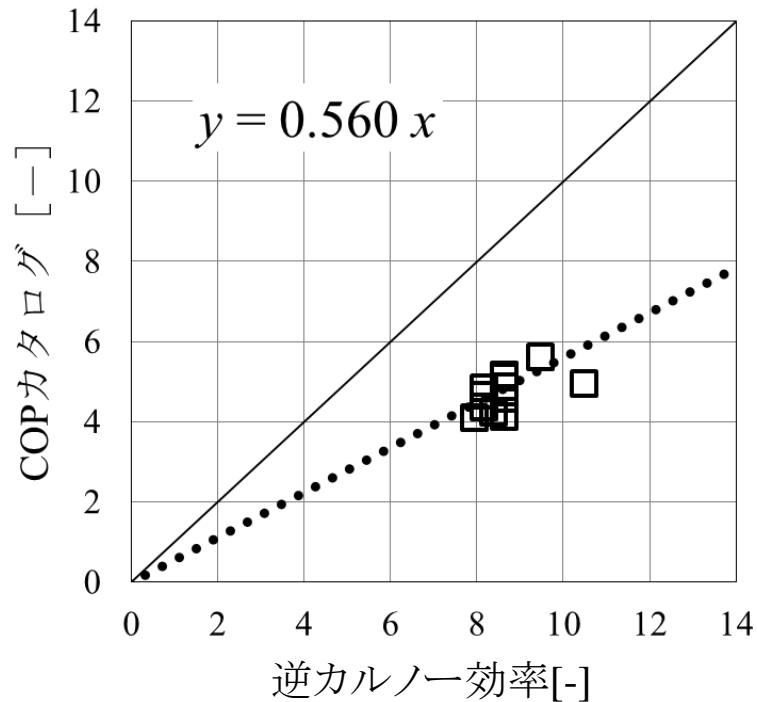


$$\text{COP} = \frac{\text{除去(供給)熱量}}{\text{必要投入エネルギー}}$$

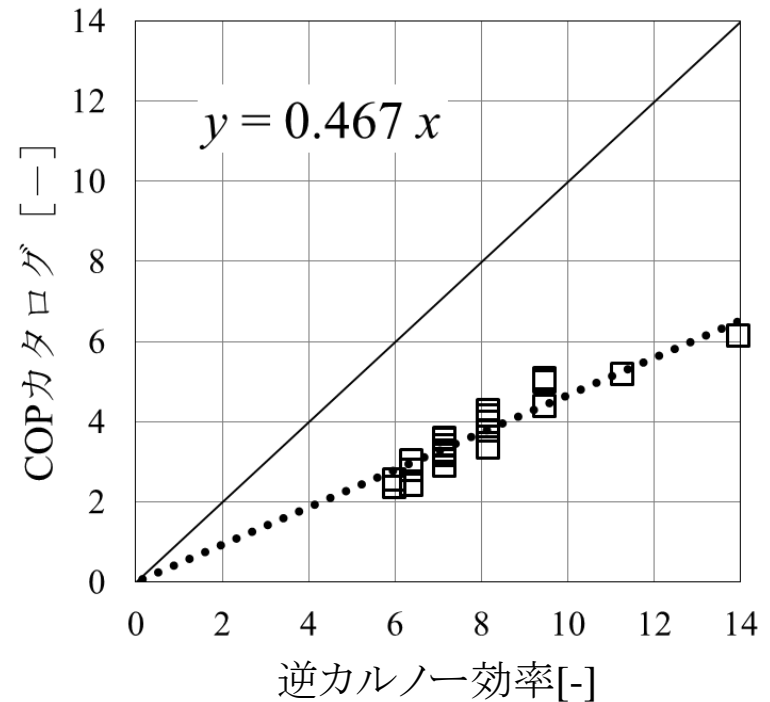
逆カルノー効率(COP)

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

逆カルノー効率と実際のCOPの関係



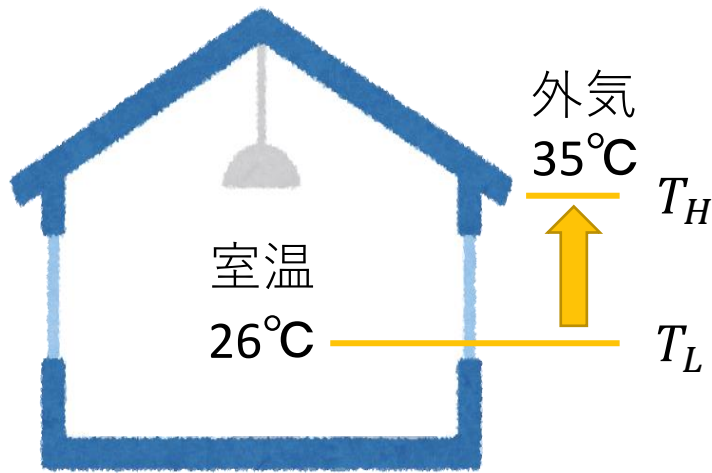
WHP
(水熱源ヒートポンプ)



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



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

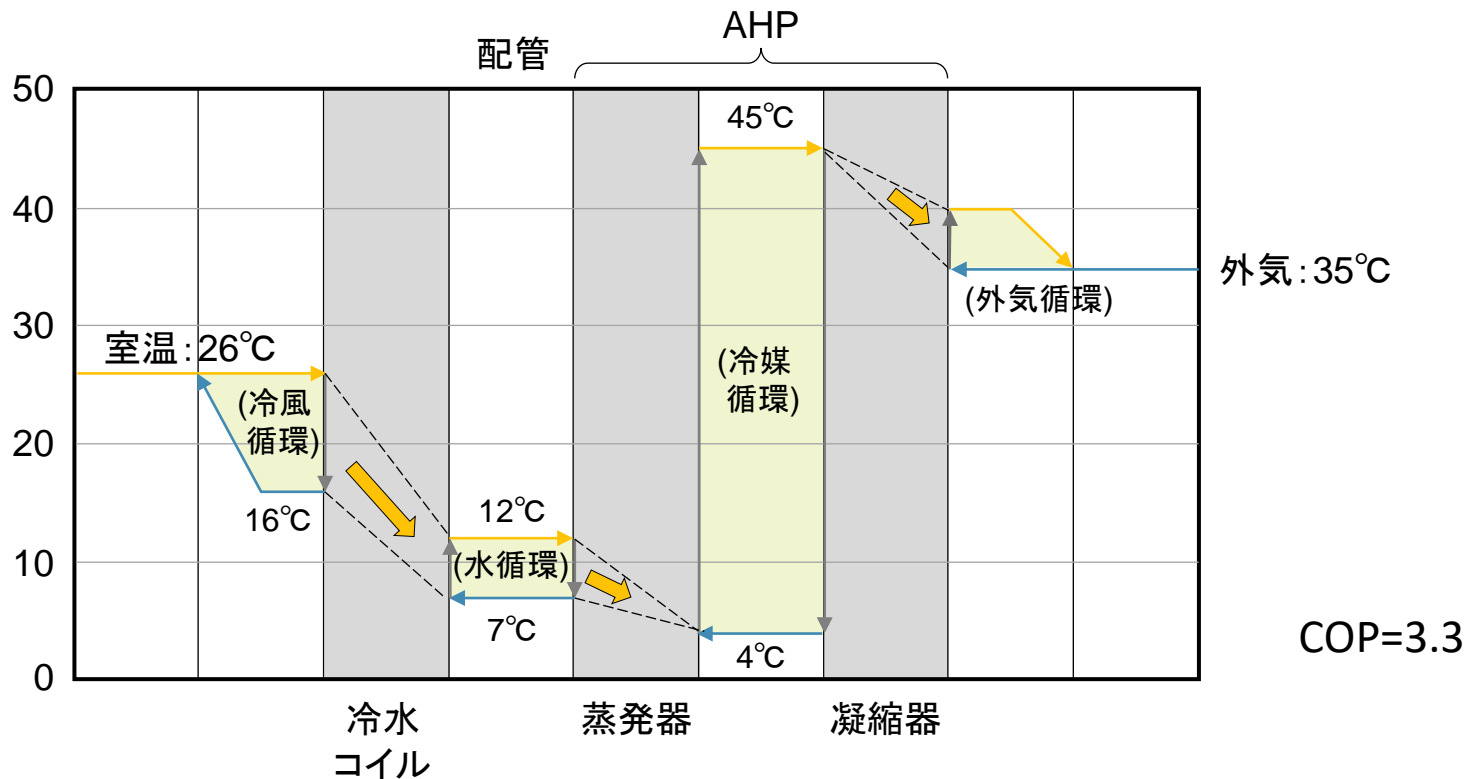
逆カルノー効率(COP)

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

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

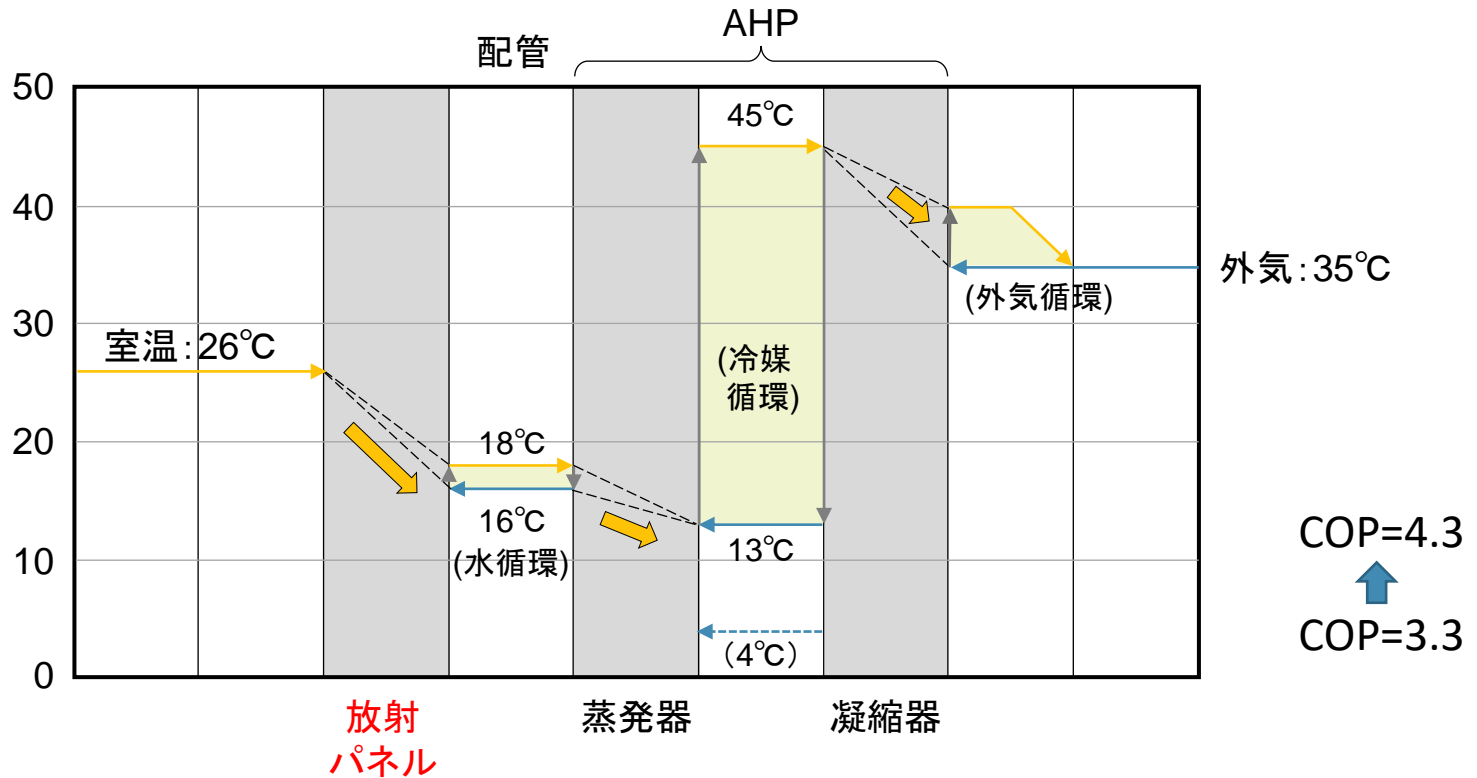
(0.467: 流通しているAHPにおけるCOP/逆カルノー効率)

対流式空調の各部温度の例



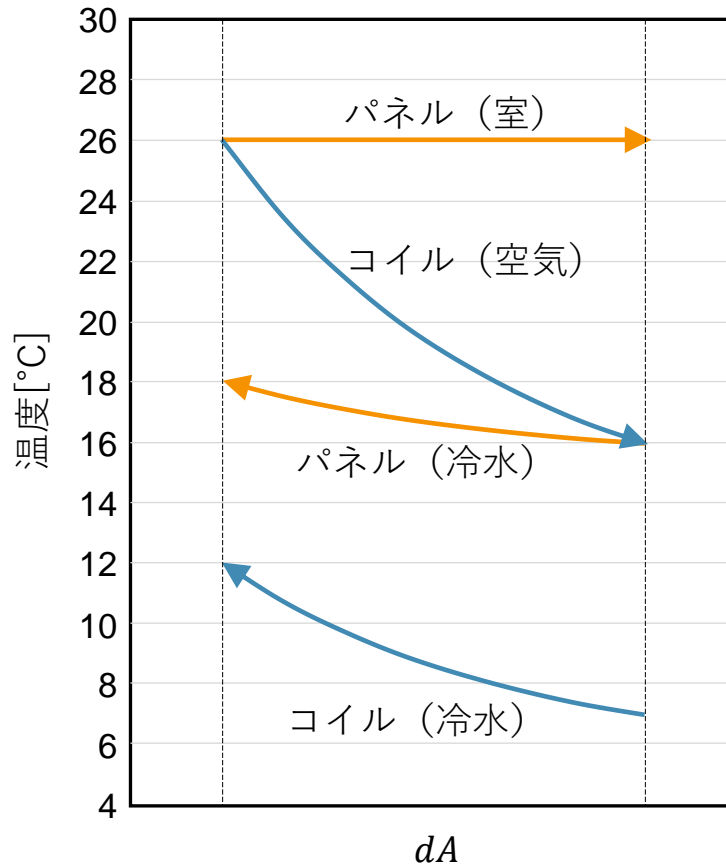
- 熱交換器は受動的機器であり、高温→低温側に熱を伝える
- 熱交換器による温度低下の分だけHPの「汲み上げ温度差」が拡大
汲み上げ温度26→35°Cに対するCOP=16のところ、4→45°Cに対するCOP=3.3になってしまう

放射式空調の各部温度の例



- 対流式と比較して汲み上げ温度差が減少し、対流式のCOP=3.3に対してCOP=4.3まで上昇

熱交換器としてのコイル vs 放射パネル



対数平均温度差 Δt_m

対流式：11.3K

放射式：9.0K

処理能力 q [W]

$$q = UA \Delta t_m$$

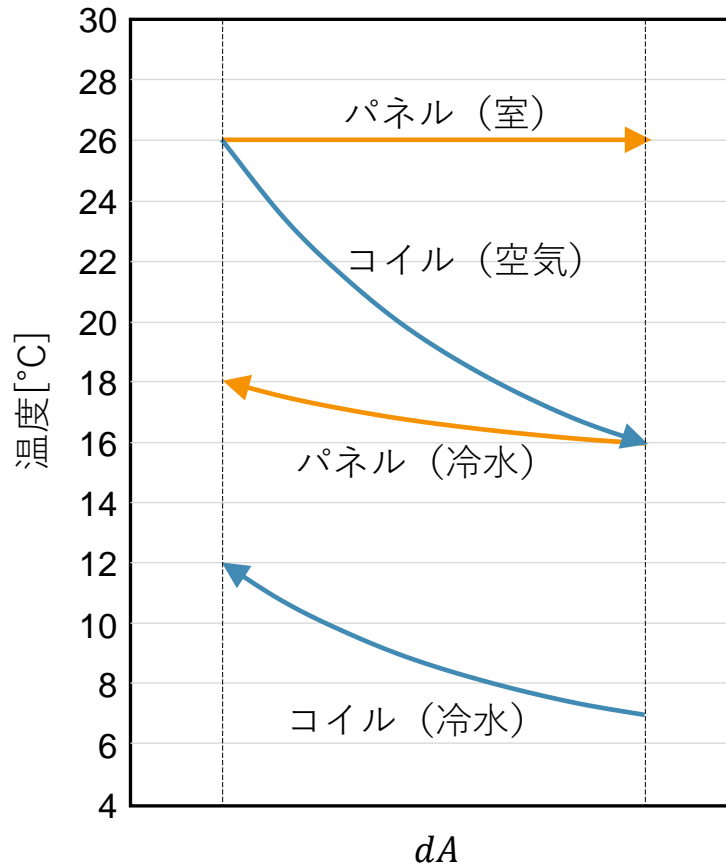
対数平均温度差 [K]

伝熱面積 [m²]

伝熱係数 [W/(m² · K)]

⇒ 伝熱効率 (UA値) の違いが放射式の低エクセルギー化に大きく影響しているわけではない

熱交換器としてのコイル vs 放射パネル

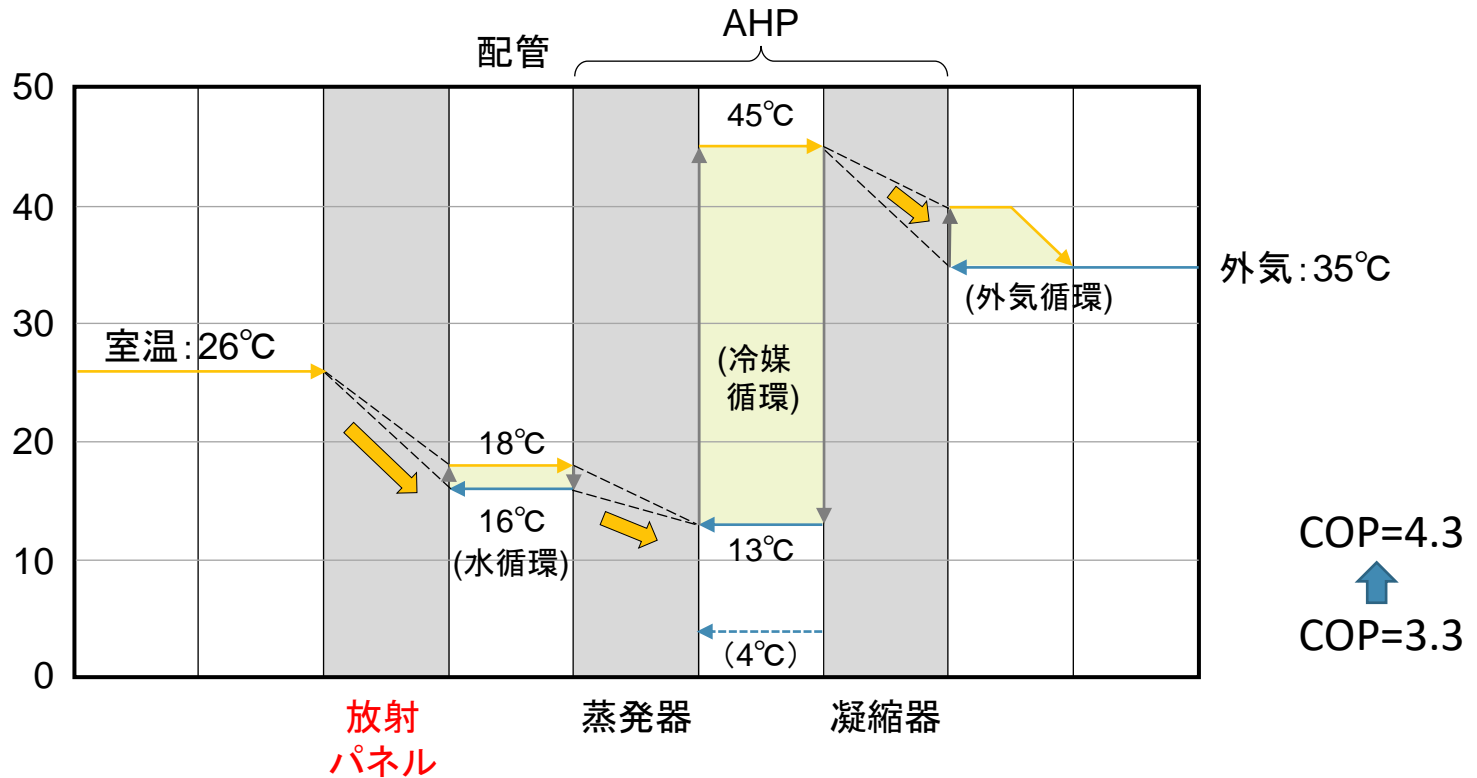


対流式の空気側温度差が大きいことがHPの汲み上げ温度差を大きくしている主要因

- 空気搬送動力とのバランス
- 除湿の必要性

空気循環系の省略が放射式の低エネルギー化に大きく寄与

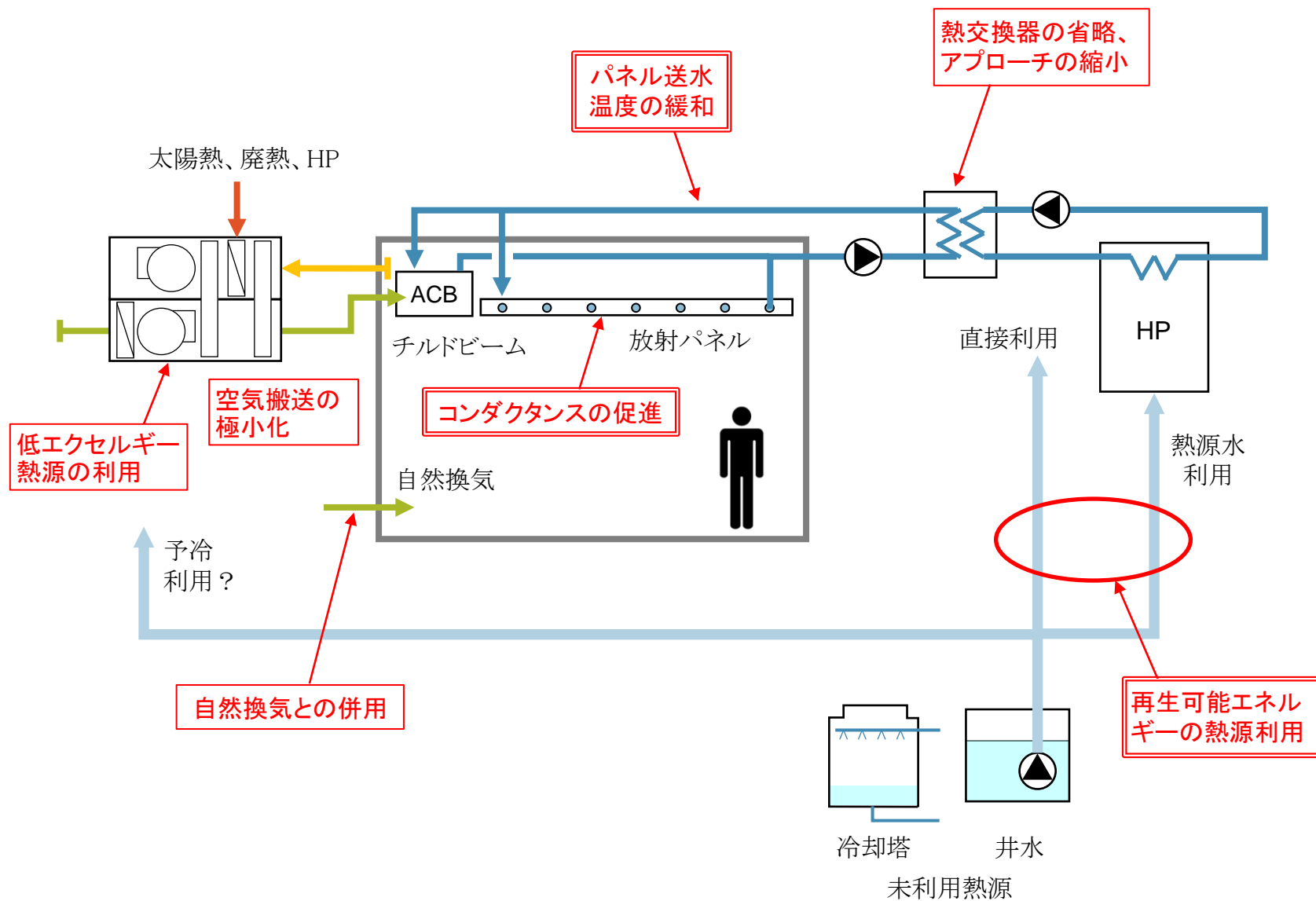
放射式空調の各部温度の例



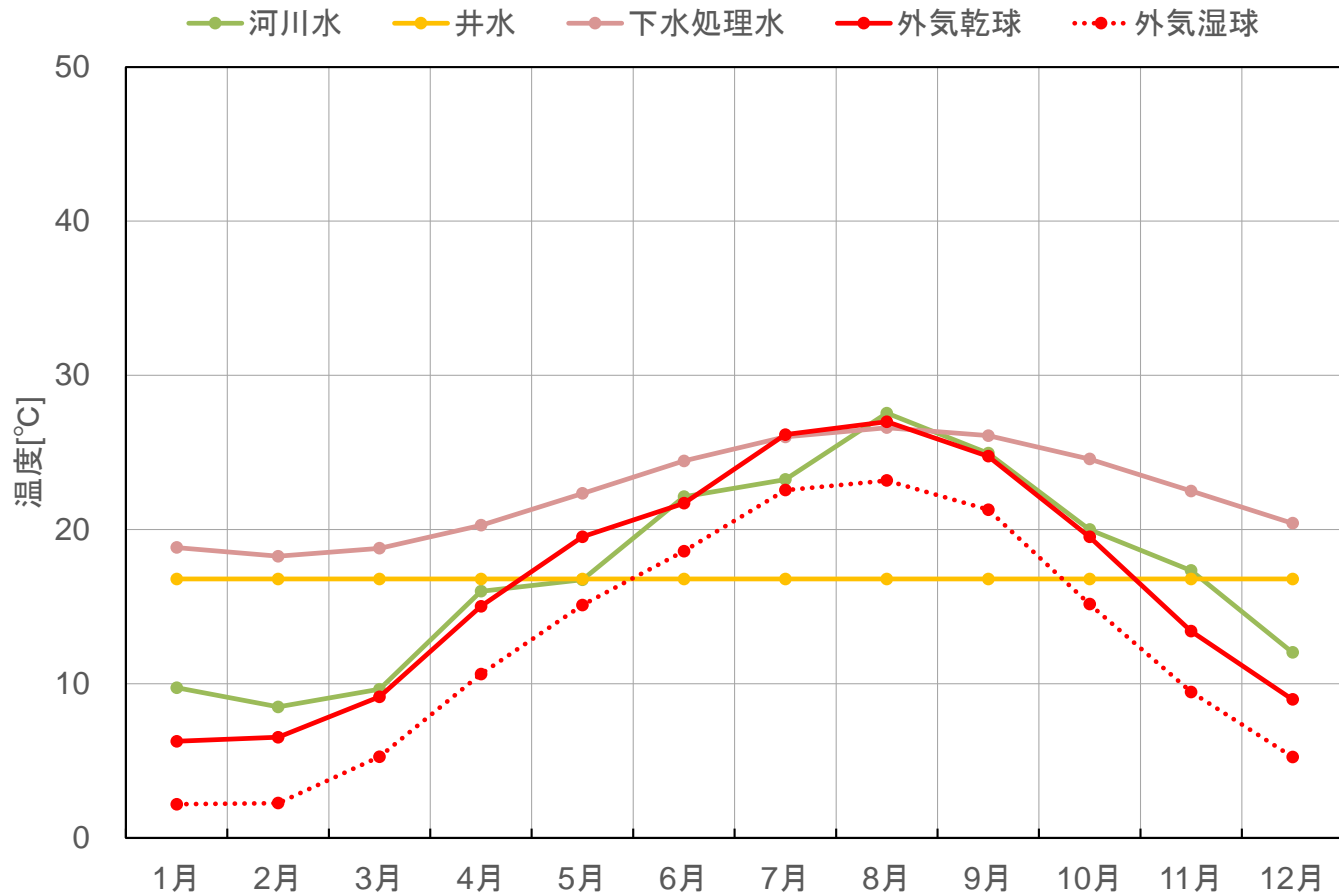
- 放射式における更なる低エネルギー化は可能？

放射式における更なる低エクセルギー化 への取り組み

更なる低エクセルギー化への取り組み

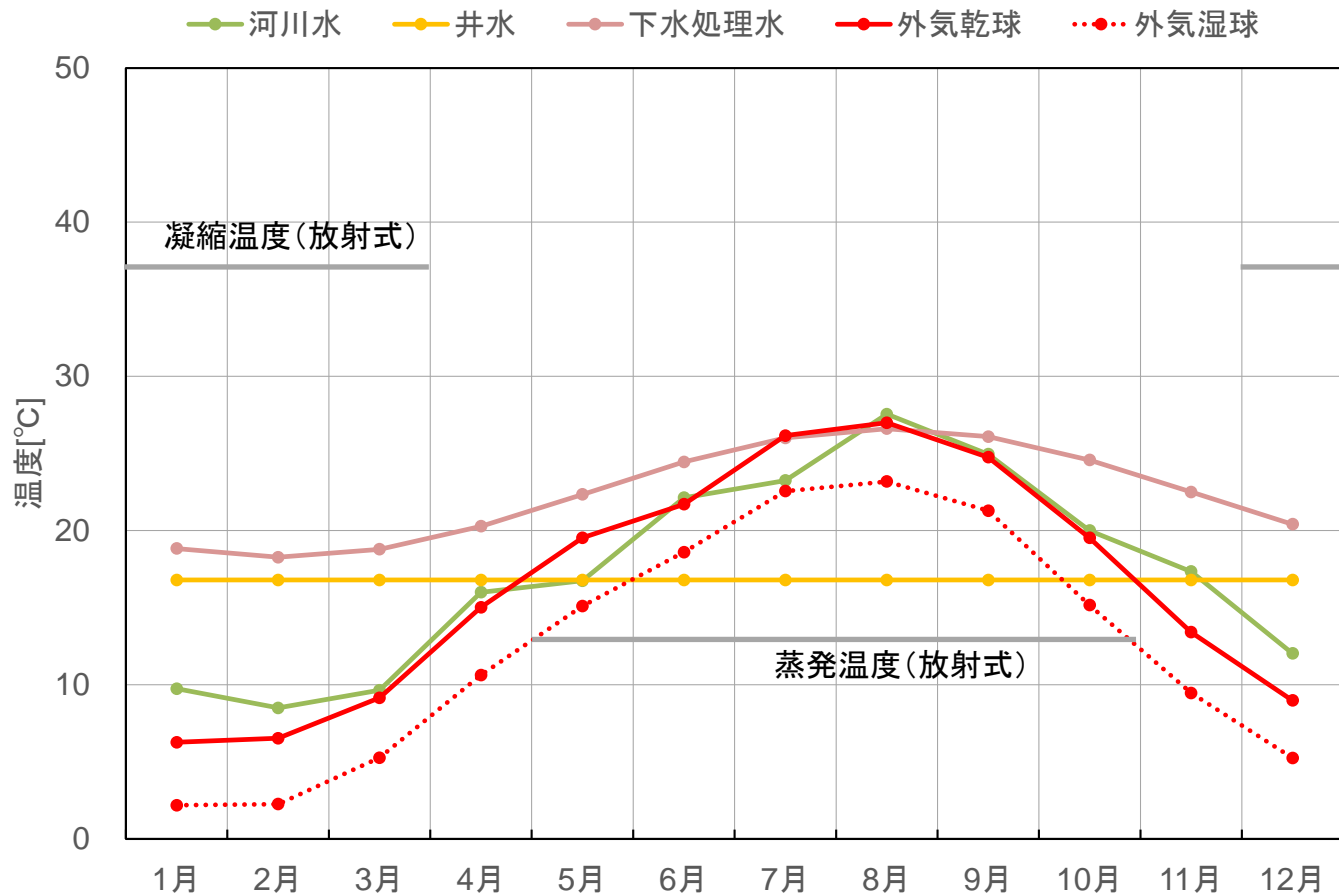


再生可能エネルギーの熱源利用



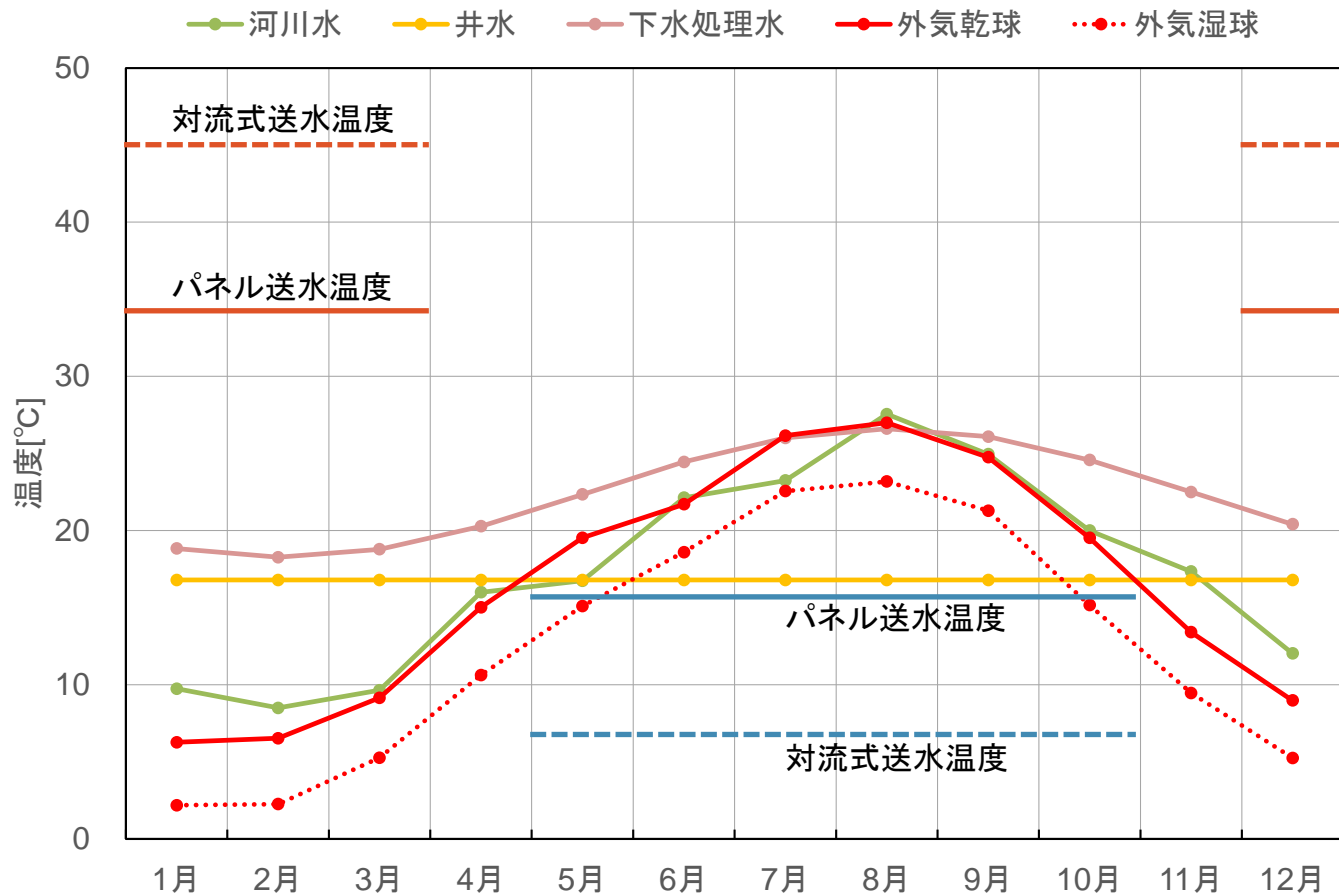
東京の各種未利用エネルギーの月別平均温度

再生可能エネルギーの熱源利用（熱源水）



東京の各種未利用エネルギーの月別平均温度

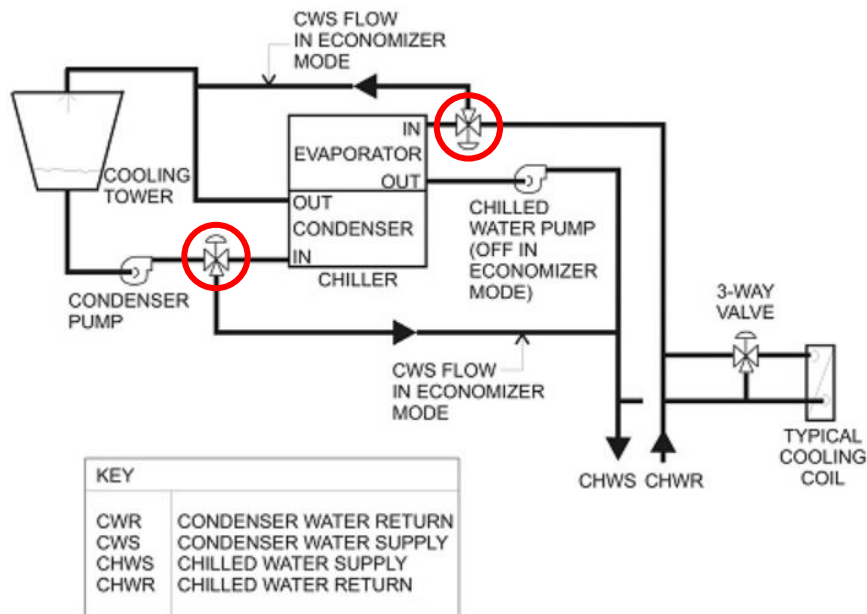
再生可能エネルギーの熱源利用（直接利用）



東京の各種未利用エネルギーの月別平均温度

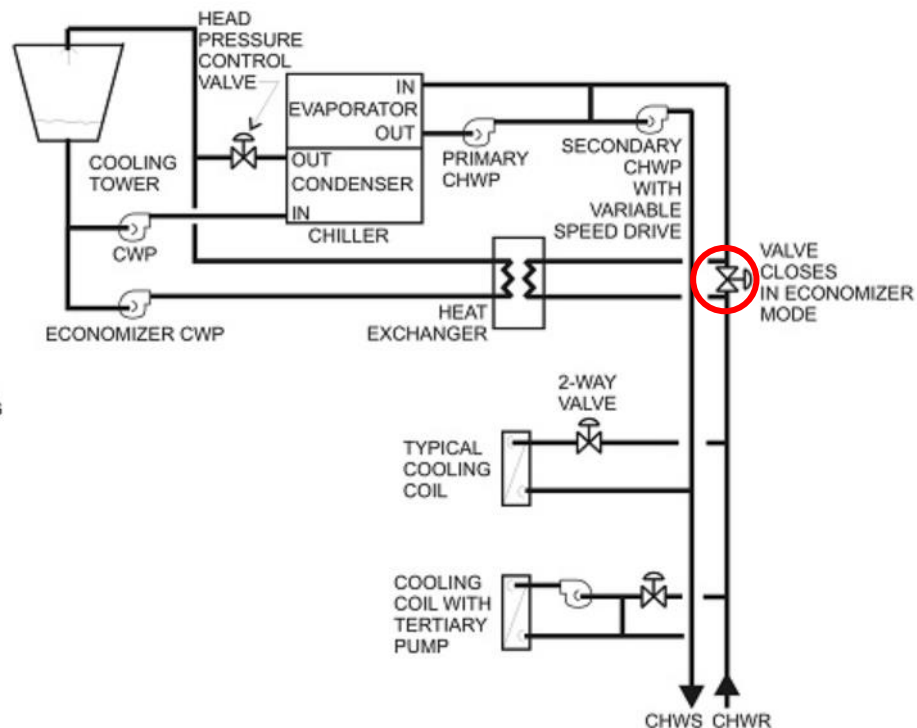
- 再生可能エネルギーの直接利用には送水温度の緩和、あるいは冷凍機とのカスケード利用等が必要

フリークーリングと冷凍機の同時利用



切替制御

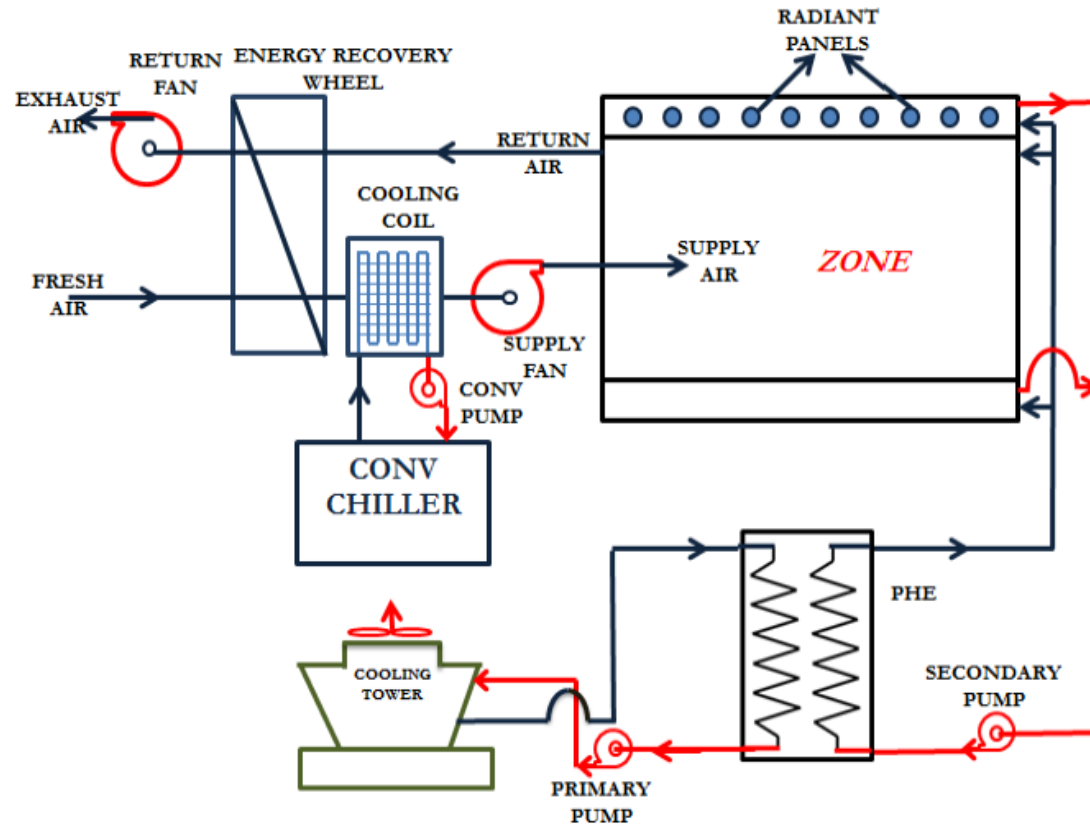
“nonintegrated economizer”



切替 & 同時利用制御

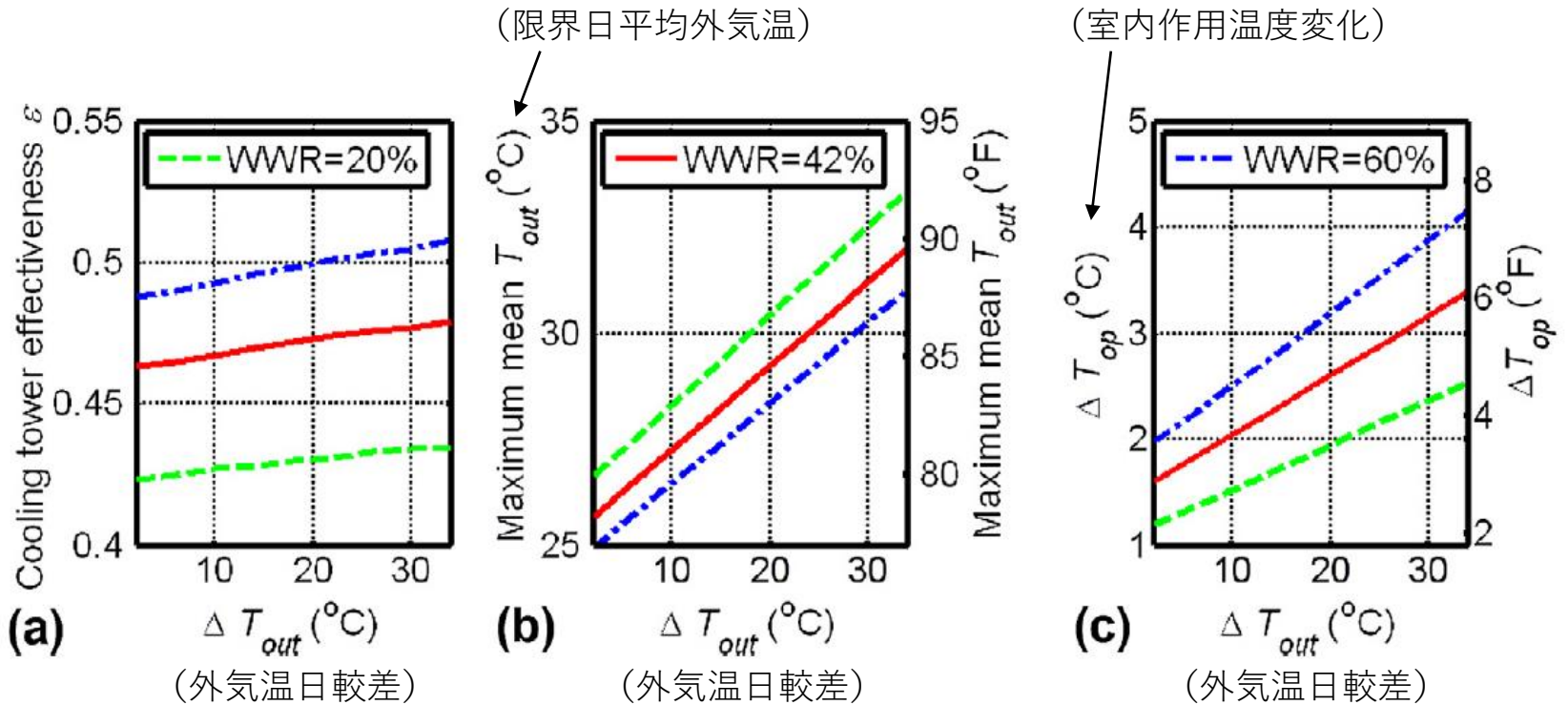
“integrated economizer”

外調機システムによる負荷処理の補償



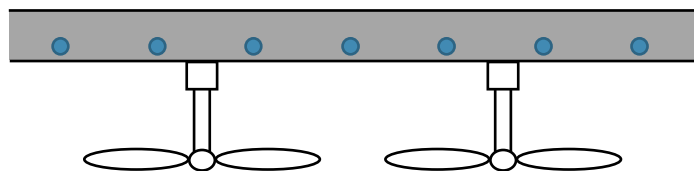
フリークーリングで賄えない負荷は外調機システムで制御

熱容量 (TABS) を活かした「ホメオスタシス建築」



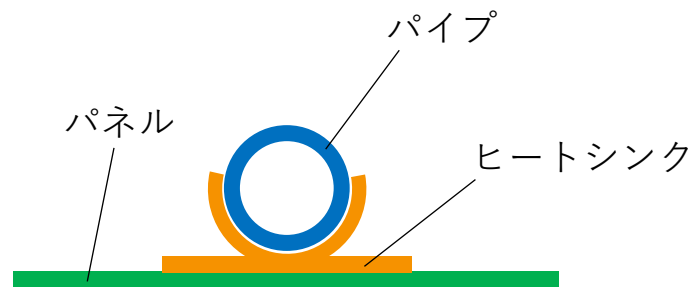
外気温の日較差が大きい地域では建物躯体に十分な熱容量があればフリークーリングだけで快適性を維持できる(?)

パネル周りのコンダクタンスの促進



放熱促進ファンの利用

南海放送サンパーク美術館¹⁾
「T社」技術研修センター²⁾



- 接触熱抵抗の低減
- フィン形状の付与
- スリットによる熱伝達の上昇

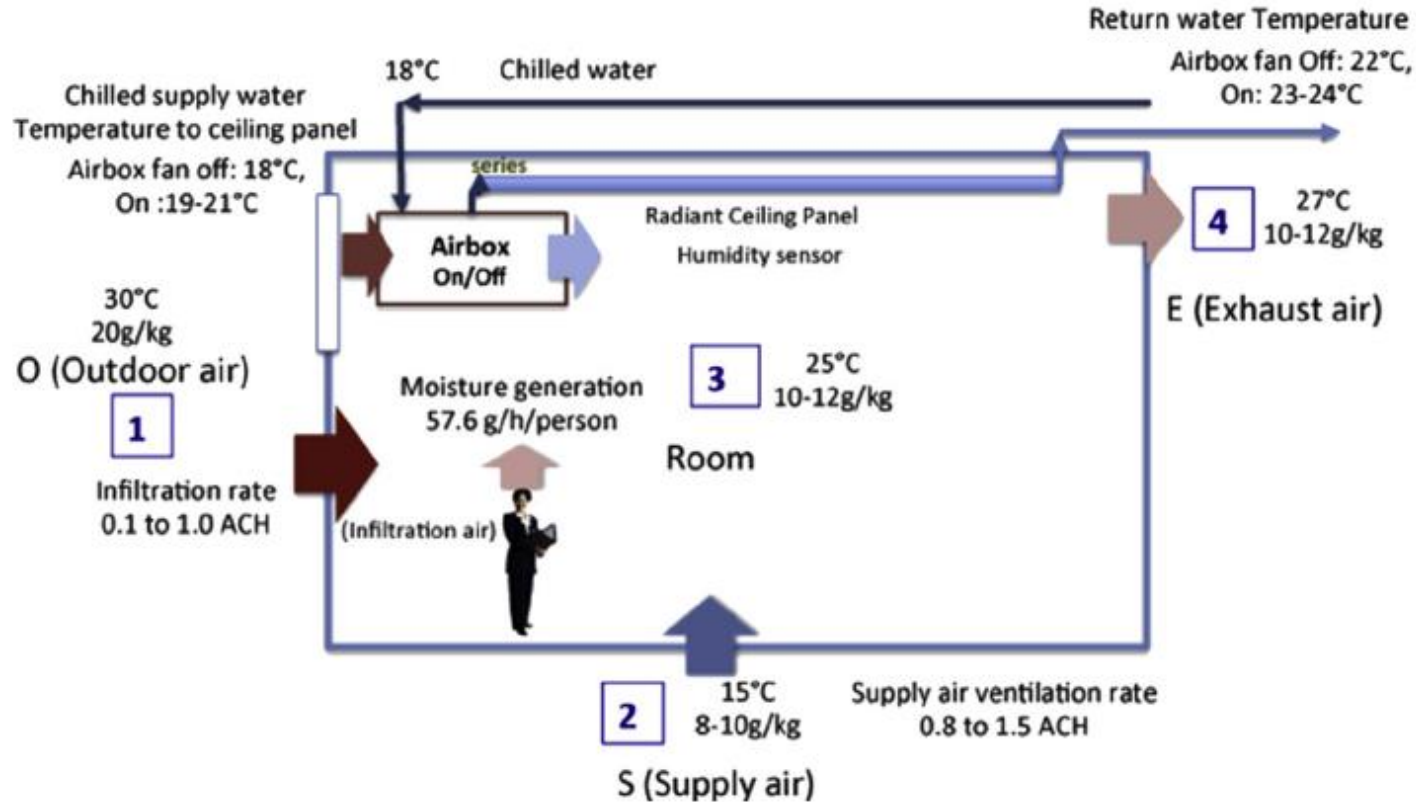
秋葉原アイマークビル³⁾

1) 建築環境・省エネルギー機構：「INVISIBLE FLOW 省エネルギー建築ガイド」, 2001

2) 山本,川村ら：次世代研修施設に適用するZEB技術の研究 その17, 18,環境工学I, pp.1229-1232, 2020

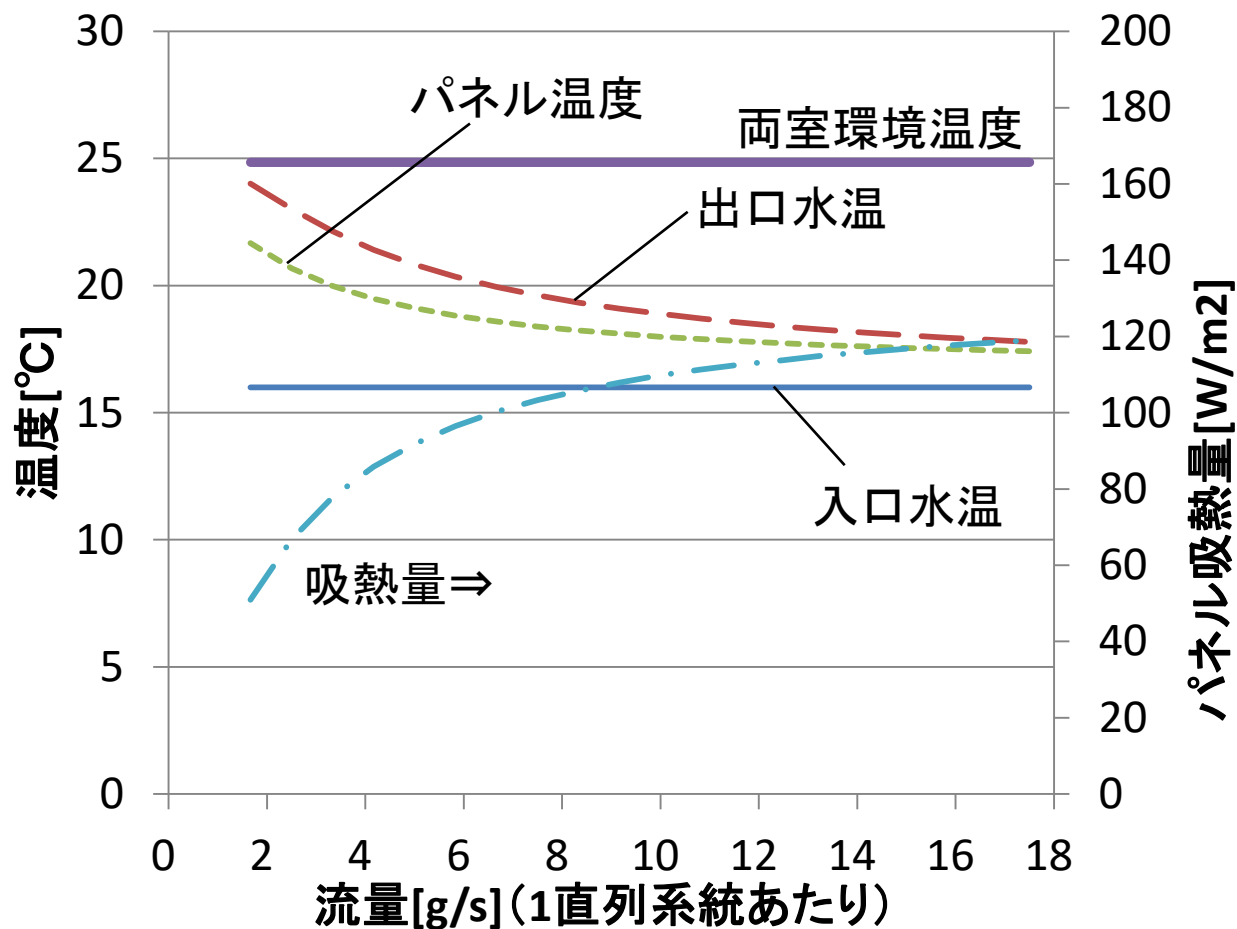
3) 清水建設株式会社設計本部：次世代テナントオフィスのプロトタイプ～先進性と波及性に優れた秋葉原アイマークビル～, 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす 100 (3), pp.322-325, 2021

パネル周りのコンダクタンスの促進



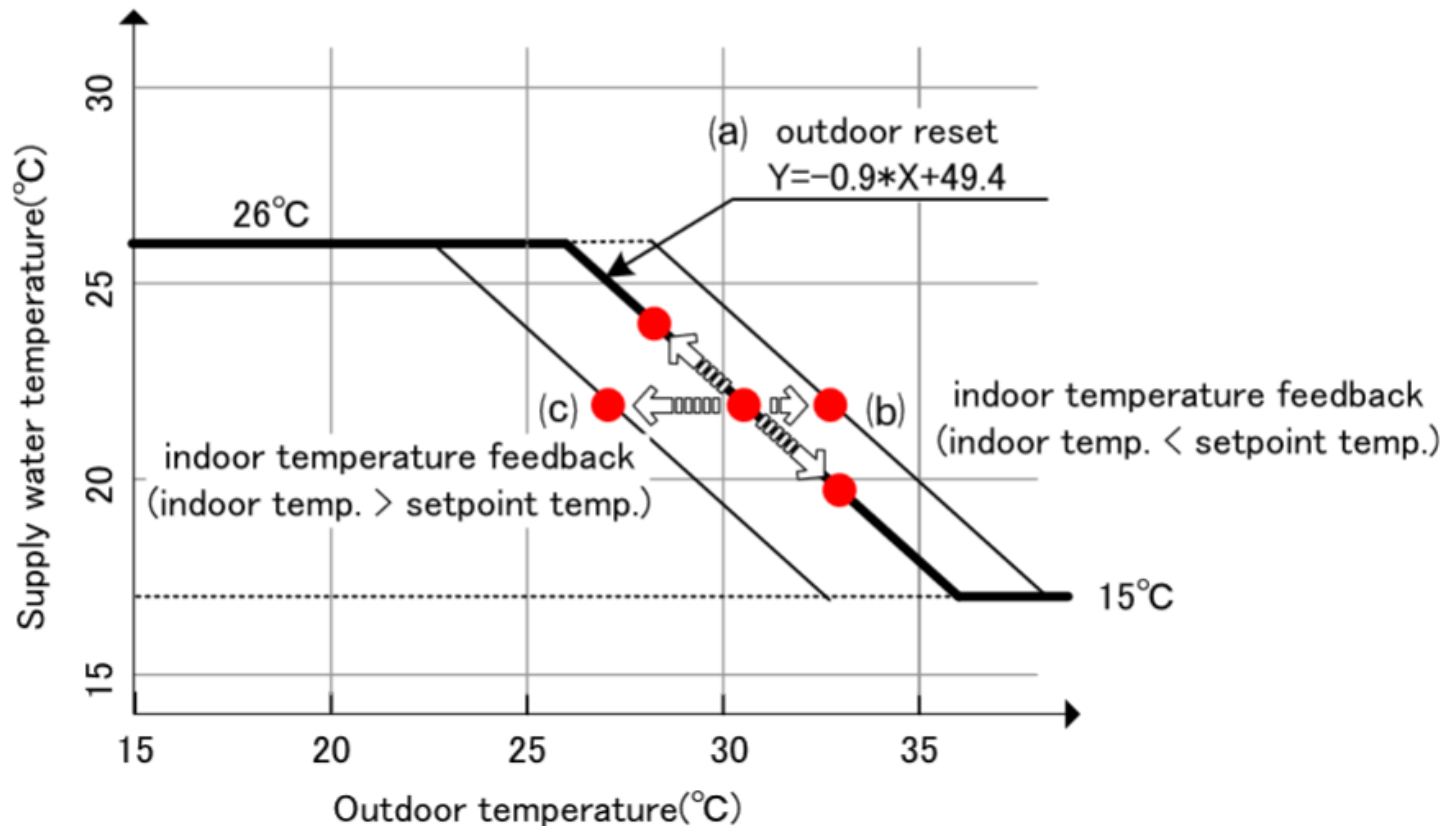
外気処理用“Airbox”の吹出気流をパネルに当てる

パネル送水温度の緩和



シミュレーションによるパネル単体の特性例

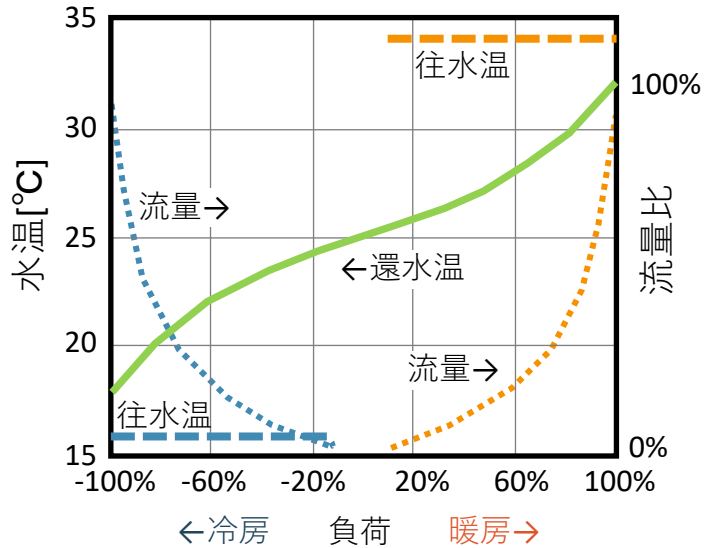
パネル送水温度の緩和



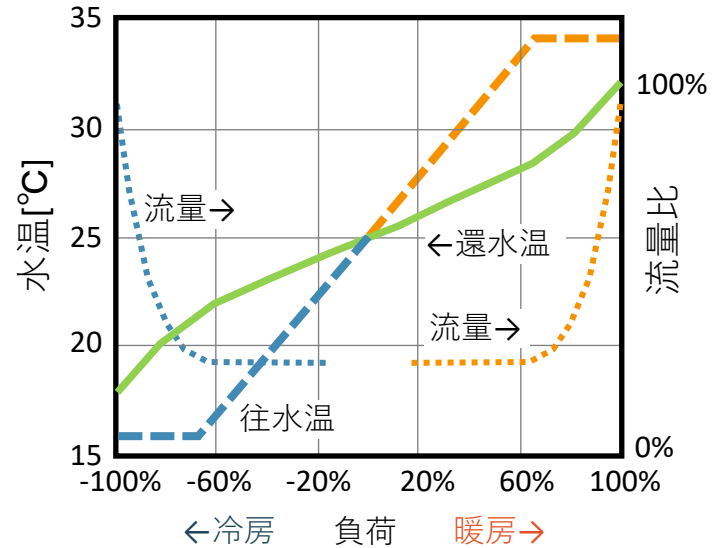
Outdoor reset (+室温による補正)制御の例⁴⁾

4) Song, D et.al.: Performance evaluation of a radiant floor cooling system integrated with dehumidified ventilation, Applied Thermal Engineering 28, pp.1299–1311, 2008

パネル送水温度の緩和



従来制御
(送水温度一定 + VAV)



可変流量-往還温度可変制御
(VAV-VT)

「ダイナミックレンジ空調システム」における可変流量-往還温度可変制御の概念⁵⁾

5) 坂本裕, 近都州彦, 平須賀信洋, 加藤駿: ダイナミックレンジ放射空調システム, 建築設備と配管工事, pp.80-86, 2323年2月増刊号

まとめ

- 放射パネルは低エクスルギーシステム構築のための中核的な要素
- システム構成と制御の工夫により更なる省エネポテンシャルを有している

