



一般社団法人
輻射
F U K U S H A
冷暖房普及促進協会

平成31年1月29日

輻射冷暖房のススメ

坊垣 和明

一般社団法人 輻射冷暖房普及促進協会 会長
東京都市大学 名誉教授

① 熱と環境

冷暖房の基礎

この部屋は快適ですか？

暑くないですか？

寒くないですか？

理想の冷暖房は、中間期の環境を作ること

中間期の環境って!?

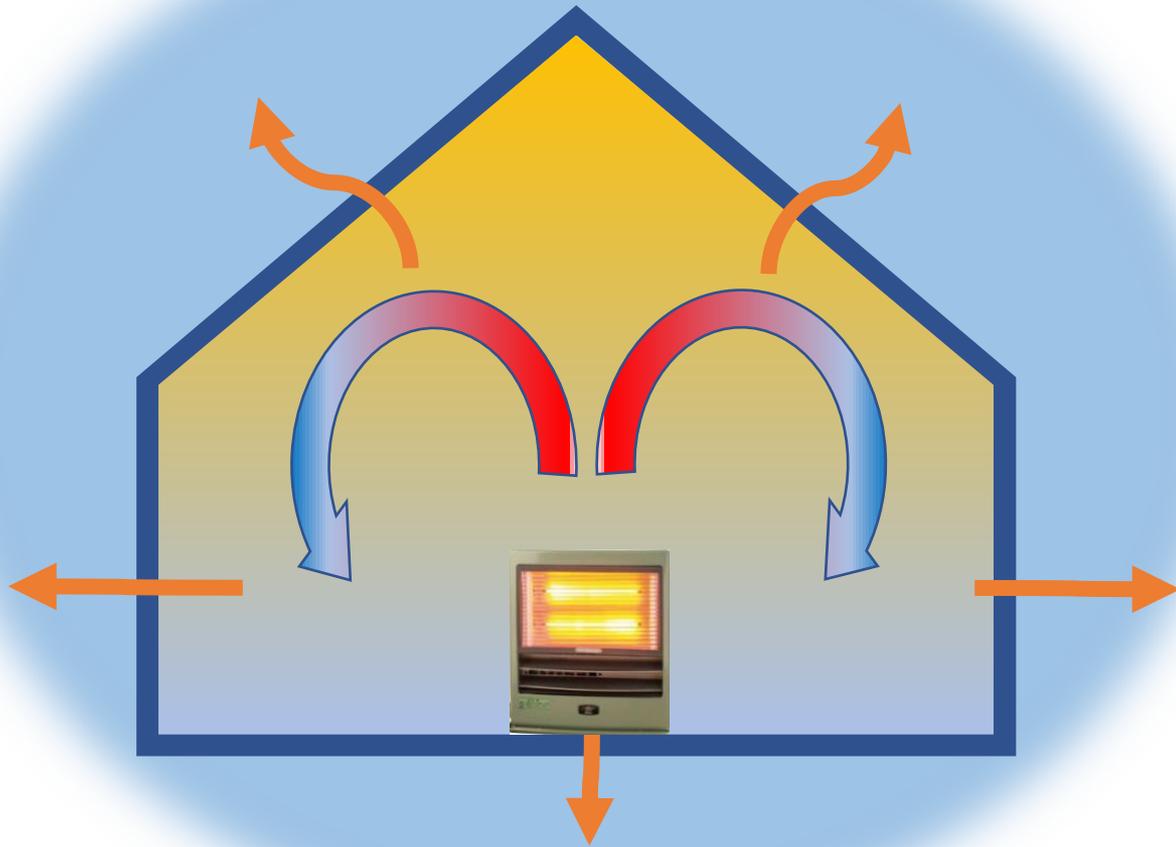
それは 温度差、温度むらのない環境

頭寒足熱というのではなく

頭温足温
頭涼足涼

それが冬には

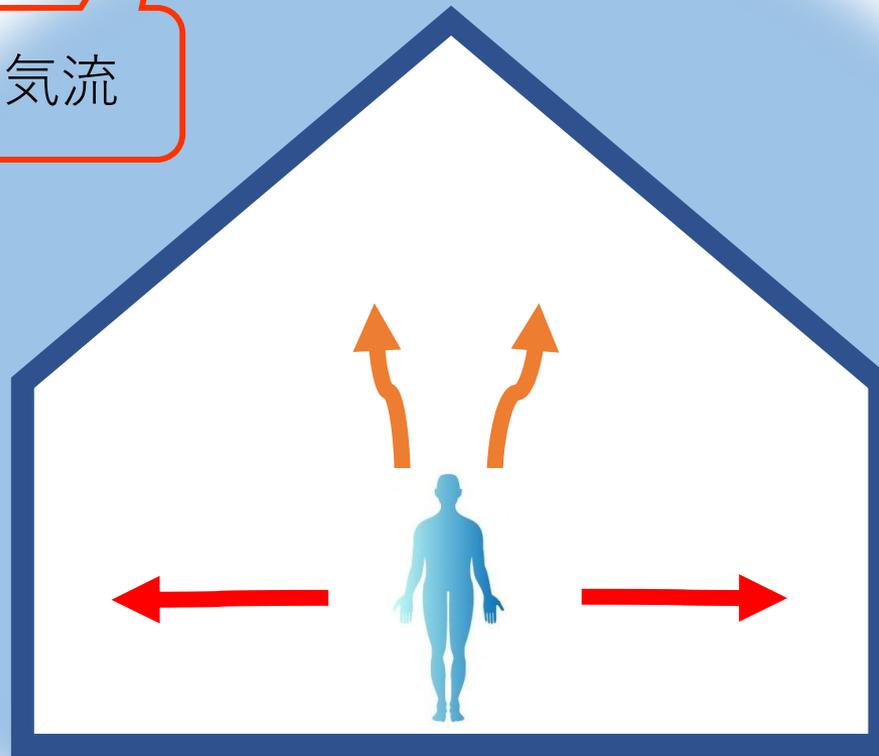
頭熱足寒



人体からは
放射と対流で熱が逃げていく

周壁温

気流



1. 熱の移動

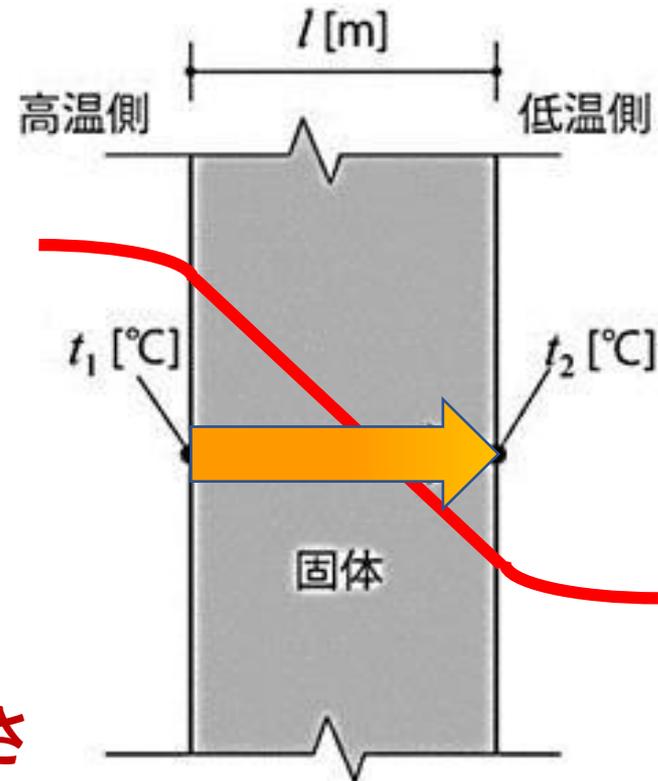
- 熱は、温度の高い方から低い方へ、「伝導」「対流」「放射(ふくしゃ)」によって移動する。

1 伝導

物体内を
温度が高い方から
低い方へ移動する

接触によって伝わる

湯たんぽやカイロの温かさ



伝導による熱の移動

1. 熱の移動

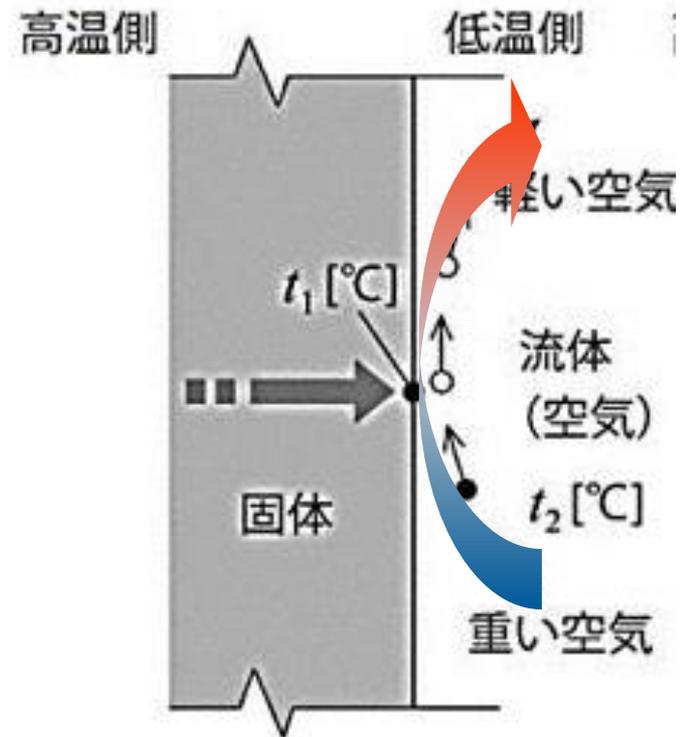
- 熱は、温度の高い方から低い方へ、「伝導」「**対流**」「放射(ふくしゃ)」によって移動する。

2 対流

流体を介して移動する

風にあたりると冷える

空気(風)が熱を奪う



対流による熱の移動

2 対流

- コールドドラフト
冷やされた空気は重くなる

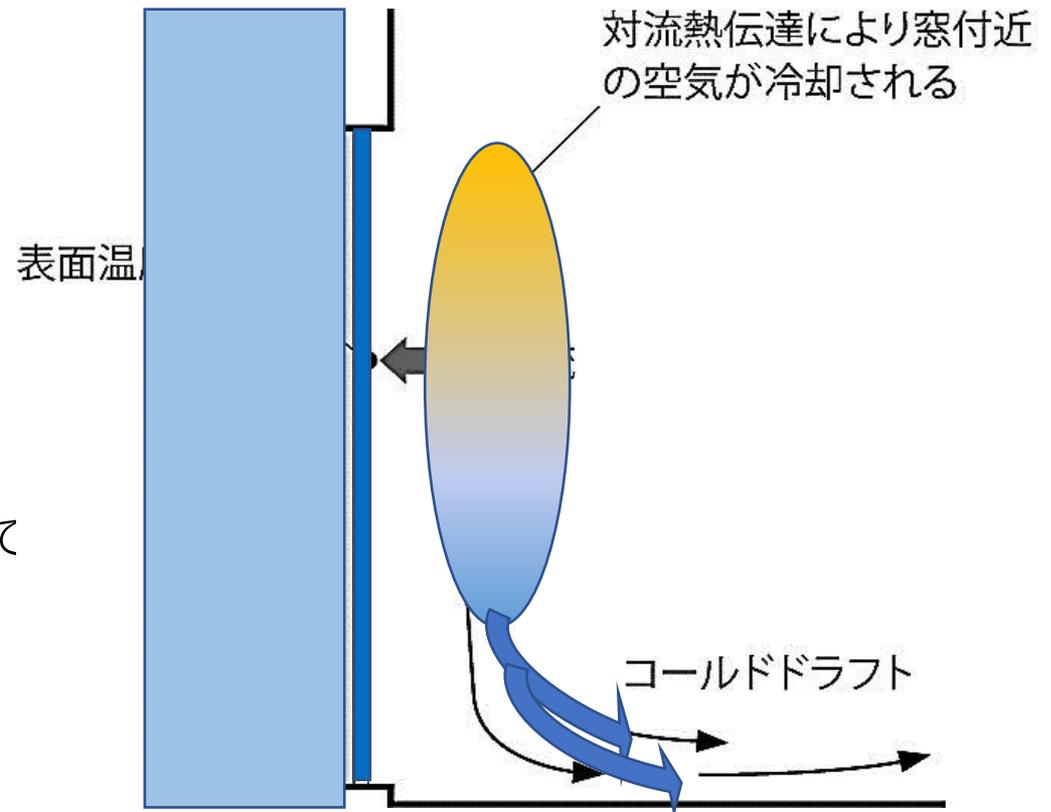
- 自然対流と強制対流

■自然対流

物表面で加熱・冷却されて
自然に移動する

■強制対流

エアコンや扇風機
の風



対流現象の例

—コールドドラフトのしくみ—

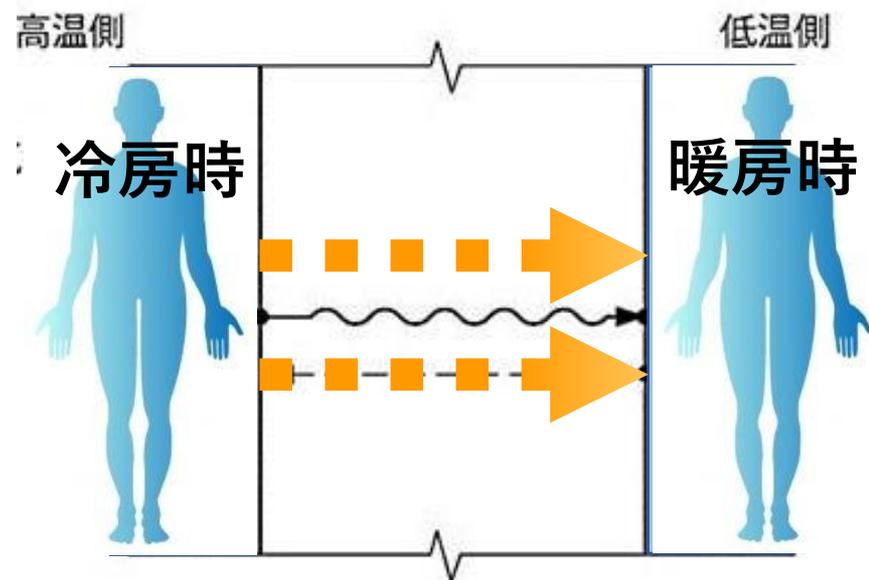
1. 熱の移動

- 熱は、温度の高い方から低い方へ、「伝導」「対流」「放射(ふくしゃ)」によって移動する。

3 放射 (ふくしゃ ; 輻射)

物体の表面から表面へ、直接移動する

太陽や焚火の暖かさ



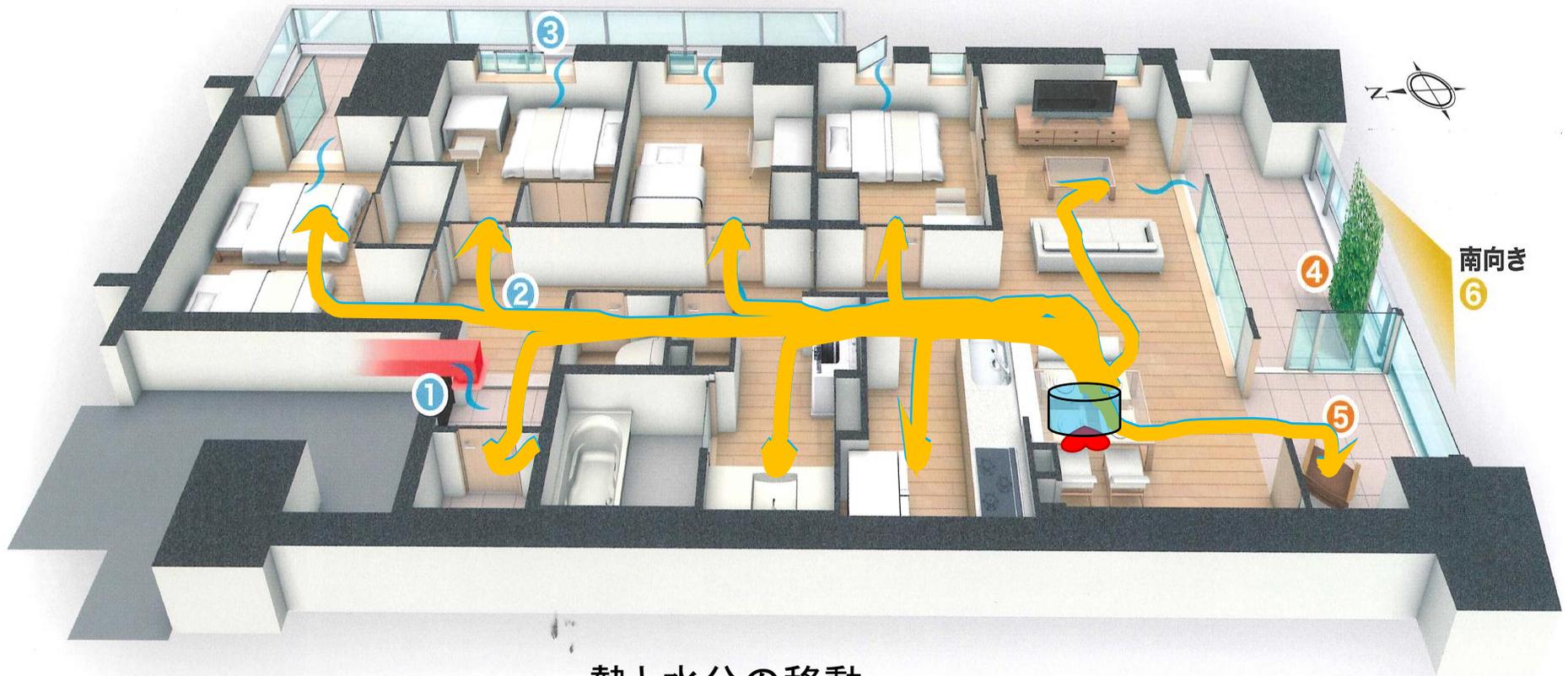
ふくしゃ(放射)による熱の移動

1. 熱の移動

- ・ 温度と湿度の動きの違い

空気の温度（熱）は伝わりにくいですが、湿度はほぼ一瞬で拡散する

ふく射熱は、一瞬で伝わるが、遮蔽物があるとそこで止まる



熱と水分の移動

2. 人体の熱収支

1 人体と熱の移動

体内での産熱

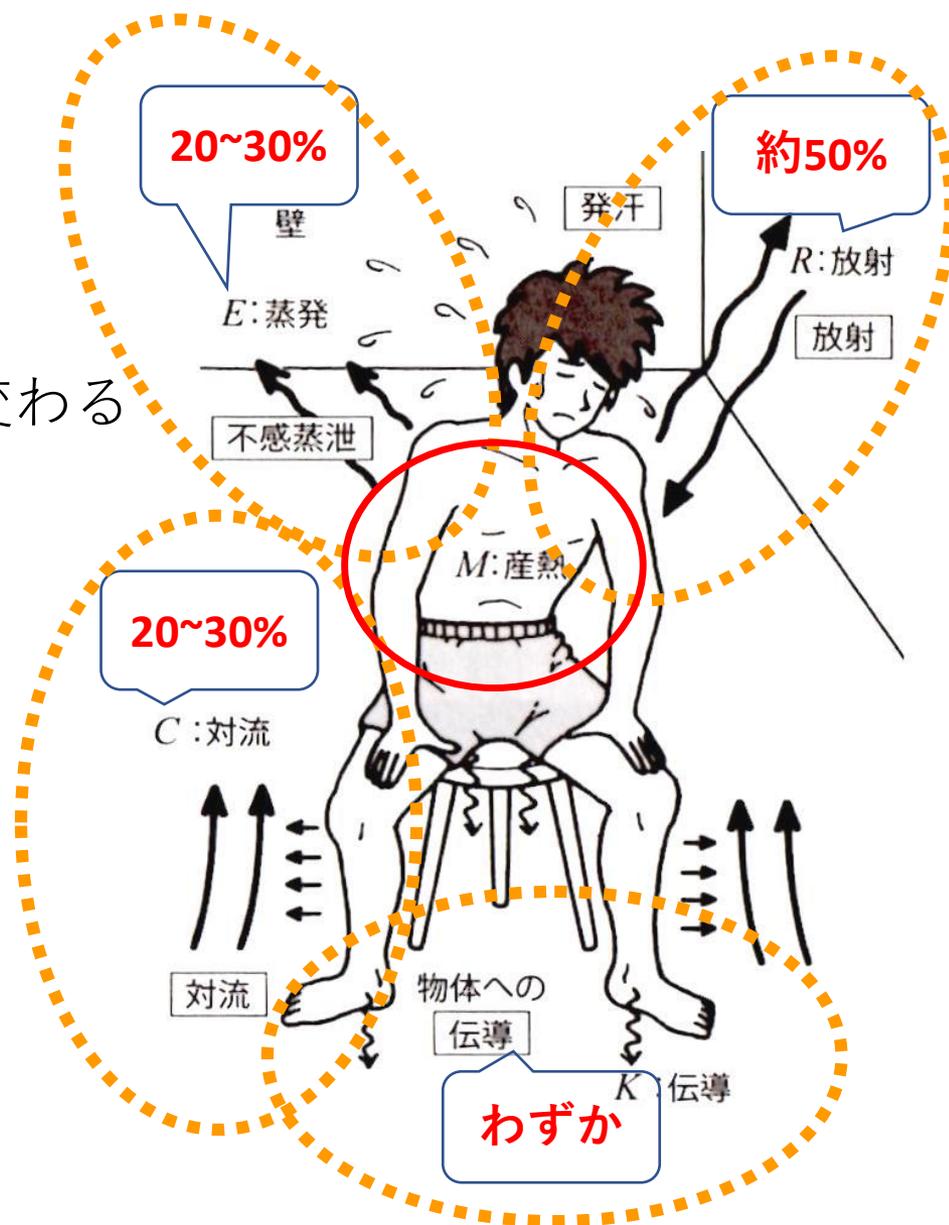
体内に取り入れた食物が熱に変わる

体表面からの熱放散割合

- ①伝導 わずか
- ②対流 20~30%
- ③ふく射 約50%
- ④発汗や呼吸 20~30%

ふく射の影響が最大

➡ ふく射暖冷房が効果的



熱の放散とその割合

2. 人体の熱収支

2 体温の調節

熱の発生と放散のバランス

裸で**気温 28℃**の時、**バランスした状態**

この時、皮膚表面の平均温度は**33～34℃**

深部体温は**37℃**

← 人類が熱帯雨林で発生した時に作られた仕組み

体温 37℃、皮膚温 34℃を保てば快適（暑くも寒くもない）

体温保持の仕組み

- (1) 体温調節 自律性体温調節／行動性体温調節
- (2) 環境調節 衣服や冷暖房、寝具（ふとん）

3. 暑さ・寒さを決める要素

1 温熱 4 要素と人体側 2 要素

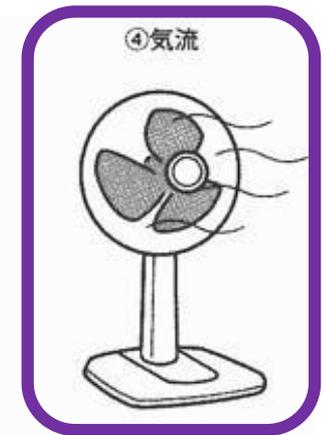
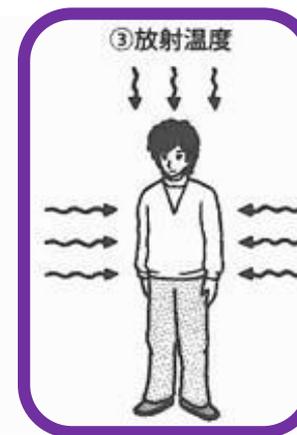
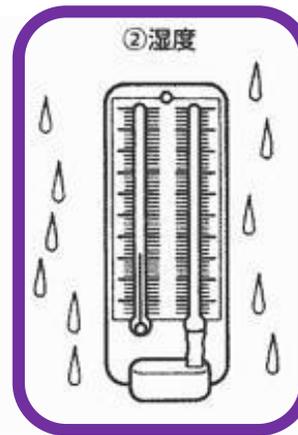
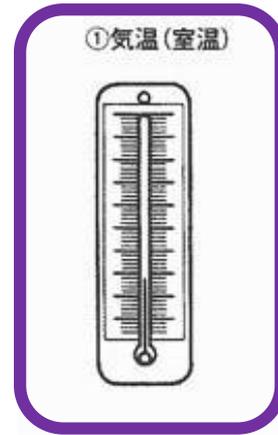
温熱 4 要素

①気温

②湿度

③ふく射（放射）

④気流



人体側 2 要素

⑤着衣量

⑥活動量（代謝量）



3. 暑さ・寒さを決める要素

2 気温・湿度・気流

- 暑さ寒さは**気温で表わす**ことが多い

◆気温の効果

- 支配的と思われがちだが、意外とそうではない
→湿度や気流、ふく射（放射）の影響も無視できない

◆不均一の影響

- 気温のムラ（不均一）が無い環境が理想
 - ◆例えば、暖房時には**足元が18°C**あればよい
 - エアコンでは、足元に冷たい空気が残る
- ふく射暖房は、床面も温めるので足元の冷えを防ぐ

3. 暑さ・寒さを決める要素

2 気温・湿度・気流

◆湿度の効果

- 気温が高い時（夏） <湿度**15%** = 体感温度 **1°C**>
- 気温が低い時（冬） 着衣があるのであまり効かない

◆気流の効果

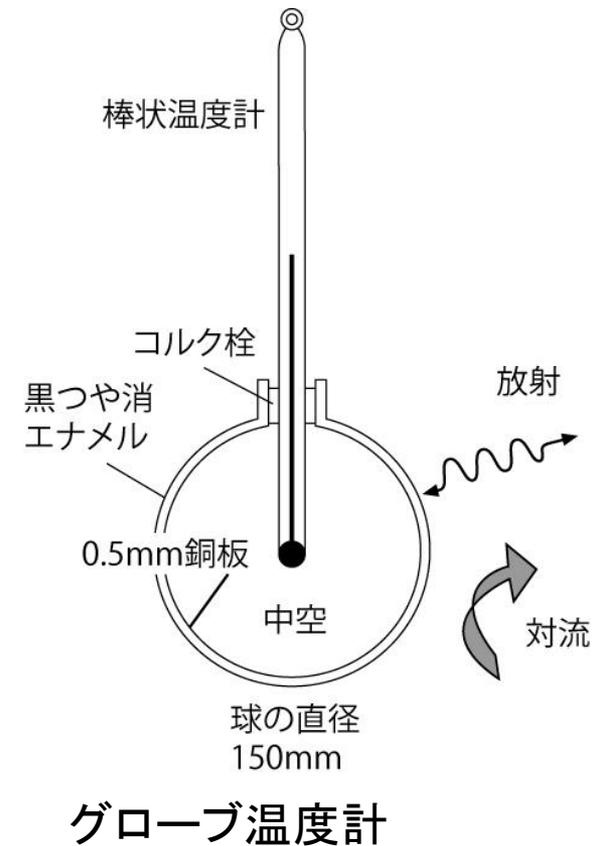
- 気温が高い時（夏 = 薄着の時） <気流**0.1m** = 体感温度 **1°C**>
- 気温が低い時（冬 = 厚着の時） **1 m/s** = 体感温度 **1°C**

冬山では風速**1m**が体感温度**1°C**に相当すると言われる理由

4. 暑さ・寒さを決める要素

3 放射（ふく射）温度

- 体表面と周囲の物体表面との温度差で熱のやり取り
 - ➔ 周囲の物体の表面温度平均が平均放射温度 = M R T
 - ➔ M R T ; Mean Radiant Temperature (°C)



4. 暑さ・寒さを決める要素

4 着衣量 clo値

- 単位は clo (クロ)
- 着衣の熱抵抗値

$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$$

成人男子が、椅座安静で、
21°Cの静穏な状態で
「暑くも寒くもない」時の
着衣の量から算出



1.14Clo



0.78Clo



0.60Clo



0.95Clo



0.75Clo



0.53Clo

着衣量とclo(クロ)値

- 具体的には

◆セーター1枚 = 約 0.2 clo = 体感温度 約 2°C

ネクタイは約 0.1clo → 首筋を締め、熱を逃がさない

◆靴下は約 0.05clo しかし、暖房時にはもっと大きな効果

→ 足元の保温 / 冷房時も同様の効果

保温性の高いスリッパ (足全体を包むような) も効果的

4. 暑さ・寒さを決める要素

5 代謝量 Met

- 単位は **Met** (メット) または 産熱量 W/m^2 (体表面積)
- 成人男子が、椅座安静のときの代謝量 $58W/m^2$ を **1 met** と定義
成人男子 (体表面積 $1.7m^2$) の 1 met の時の代謝量は、**約100W**
- 具体的には
 - ◆座っている人と立っている人で **約0.2 Met** の差 = 体感温度 **約1°C**
歩いている人とでは **約1Met** の差 → 体感温度 **4~5°C**
 - ◆子供や赤ちゃんは動きが活発
→ 薄着、低温でよい



0.7Met



1Met



2Met



4Met

活動状態と代謝量

② 暖冷房設備

ふく射冷暖房のすすめ

図表等の出典

日本バウビオロギー研究会 通信教育講座

バウビオロギーBIJ第8巻「暖房設備」

1. 暖房の功罪

1 生物気候学（ビオクリマ）から見た暖房の効果

健康への良い影響

- 皮膚の血行、代謝が良くなる
- 血圧が下がる
- 免疫システムへの良い影響
- 軽やかかつ深い呼吸
- 中枢神経が穏やかになる
- 生命力

暖房による環境への影響

- 温度差（室内の垂直・水平分布）
- 空気や建材の湿度（含水率）
- 空気の対流、ほこりの発生・循環
- 空中のバクテリア、ウィルス
- 静電気とその帯電、電磁場
- 騒音・振動

健康へのマイナス要因（暖房病）

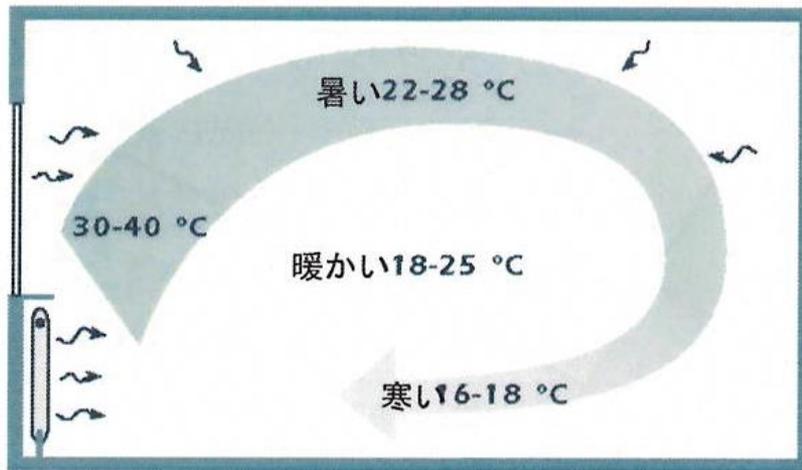
- 疲労感、不快感、神経過敏
- 風邪
- 睡眠障害
- リュウマチ、循環器障害
- アレルギー、抵抗力の低下、能率低下

「冷房」はさらに大きな健康影響（冷房病）

2. 理想の暖房

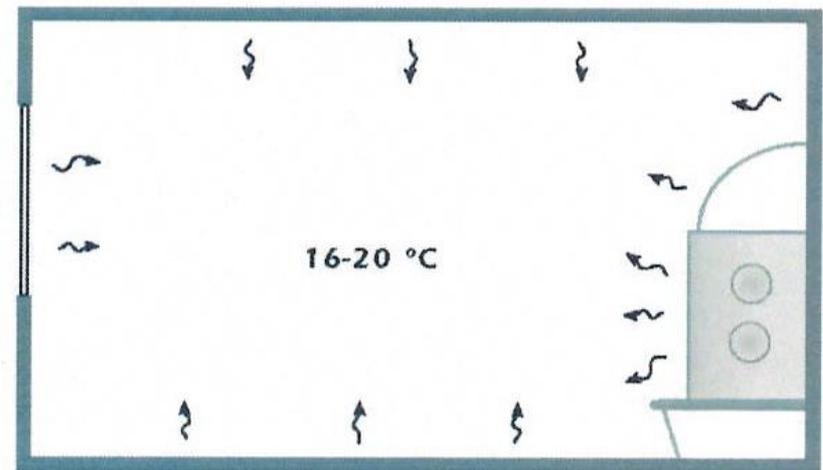
2 対流暖房とふく射（放射）暖房

- 対流暖房は、**温度差や塵埃の循環、過乾燥**になりやすい。
- ふく射暖房では、材料・部位の**乾燥状態維持、過乾燥防止**
- ふく射熱が勝っていれば、室温は**18°C**で十分
- 低い室温は省エネである。**室温1°Cで5~6%の節約。**



対流式暖房

(例：ラジエーター、コンベクター、暖房を仕込んだ換気装置、エアコン)



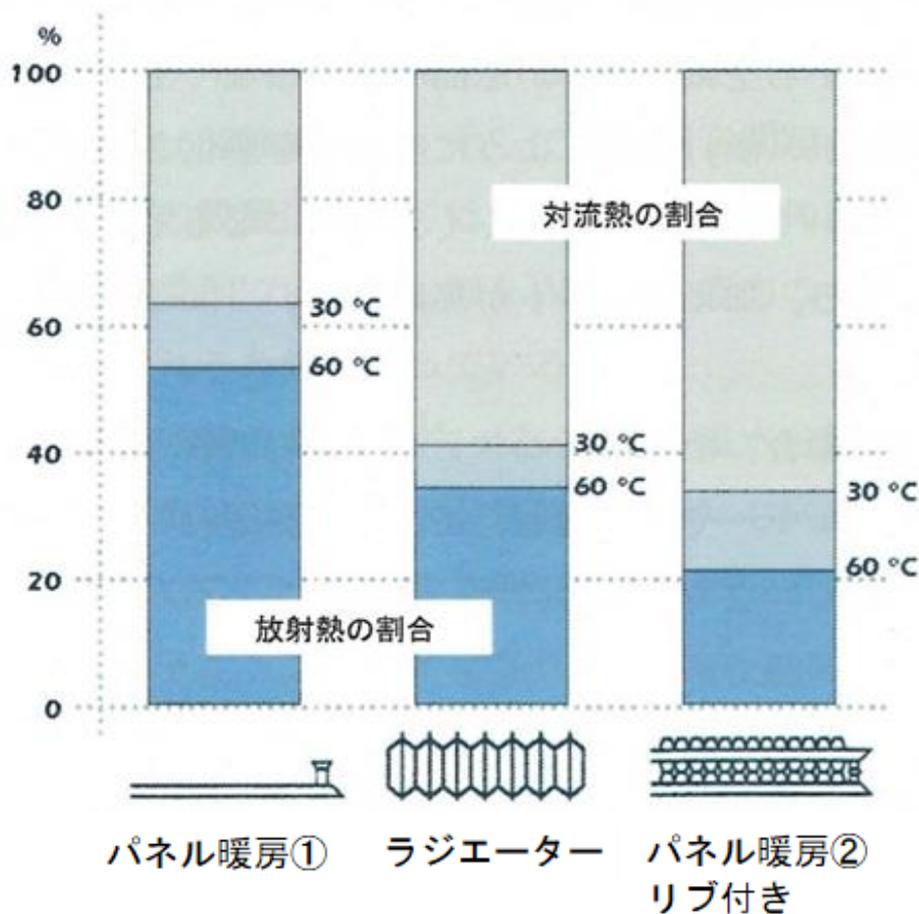
放射暖房

(例：カッヘルオーフェン、暖炉、壁暖房、床暖房、天井暖房)

2. 理想の暖房

2 対流暖房とふく射（放射）暖房

- 暖房パネルの種類と輻射成分
- 種類によって異なる



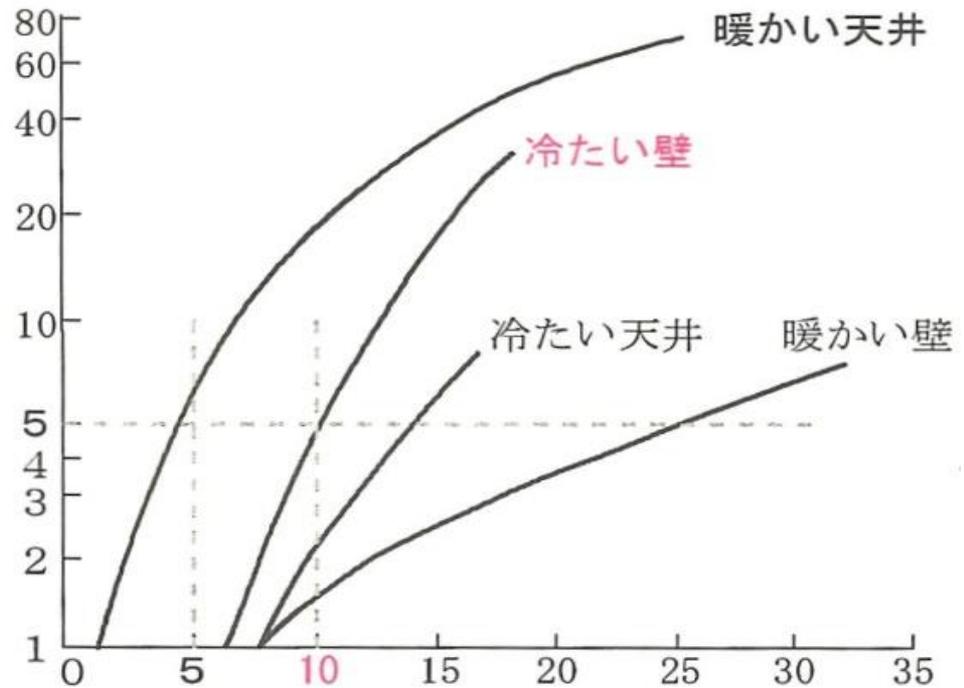
各種暖房器具の放射熱割合

2. 理想の暖房

2 対流暖房とふく射（放射）暖房

- 輻射による不均一の特徴
- 輻射面としてふさわしい方向がある

天井面は避ける
壁はよい



不均一輻射と不満足率

2. 理想の暖房

3 ふく射（放射）暖房

バウビオロギーが勧める壁暖房 = **理想の暖房システム**

低温暖房（熱源25℃、40℃まで）、高い**放射熱割合**（70%以上）
高い**表面温度**（20~30℃）、**大面積**の放射（周壁温に差が生じない）
省エネ、少ないメンテナンス、小さい騒音



図21 ポリプロピレン管を塗り下地材であるアシボードに留めた壁暖房
（配管は土モルタル、石灰モルタルなどで塗りこむ）



図22 配管を仕込んだ土パネルからなる壁暖房
（ボードは実になっていて、上塗りして仕上げる）



図23 混合管を仕込んである石工繊維板を用いた壁暖房
（ボードは実になっていて、上塗りして仕上げる）

2. 理想の暖房

3 ふく射（放射）暖房

バウビオロギーが勧める壁暖房

- ・ 壁暖房のデメリット

初期費用が掛かる、

家具の配置による制限

釘打ちによる配管破損

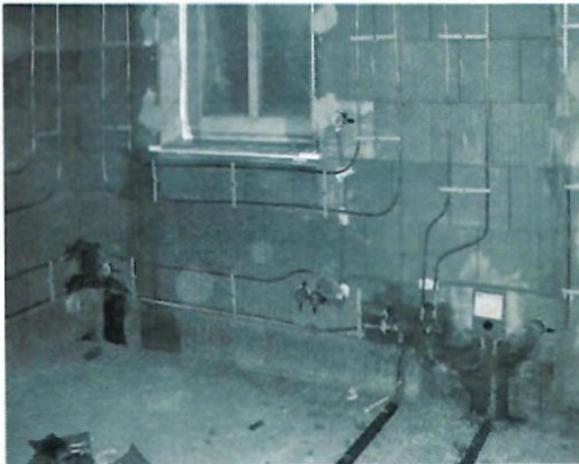


図 26 線的な壁面暖房



図 27 ソーラー熱を用いたコンクリート蓄熱

太陽熱の余剰も、さもないと評価されないソーラー設備の低温も、床面を適温化するために活用できる。

③ 新しい壁冷暖房の可能性

輻射パネルの効果検証

1. 新しいふく射(放射)空調システム

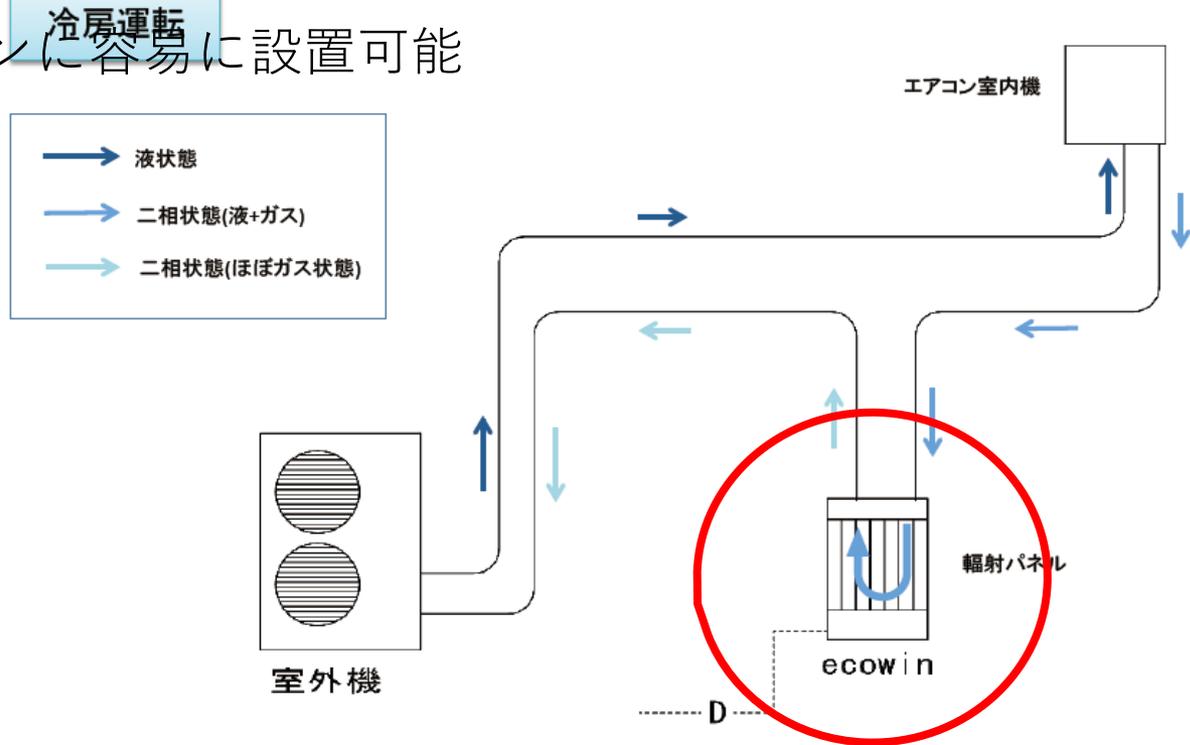
1 ふく射式冷暖房装置 × 対流式高性能エアコン

エアコンの冷媒配管途中にふく射パネルを配置

- 直膨式のふく射パネル
- 既設のエアコンに容易に設置可能



輻射パネル



ecowinHYBRIDの冷房運転は冷媒ガスが室内機を通り、そして輻射パネル内に流れ輻射パネルの表面を冷やす構造となっています。輻射パネルの表面温度は5-17℃となります。

システム図

2. 輻射パネルの効果の確認 <暖房時>

集合住宅に輻射パネルを設置し、効果を検証

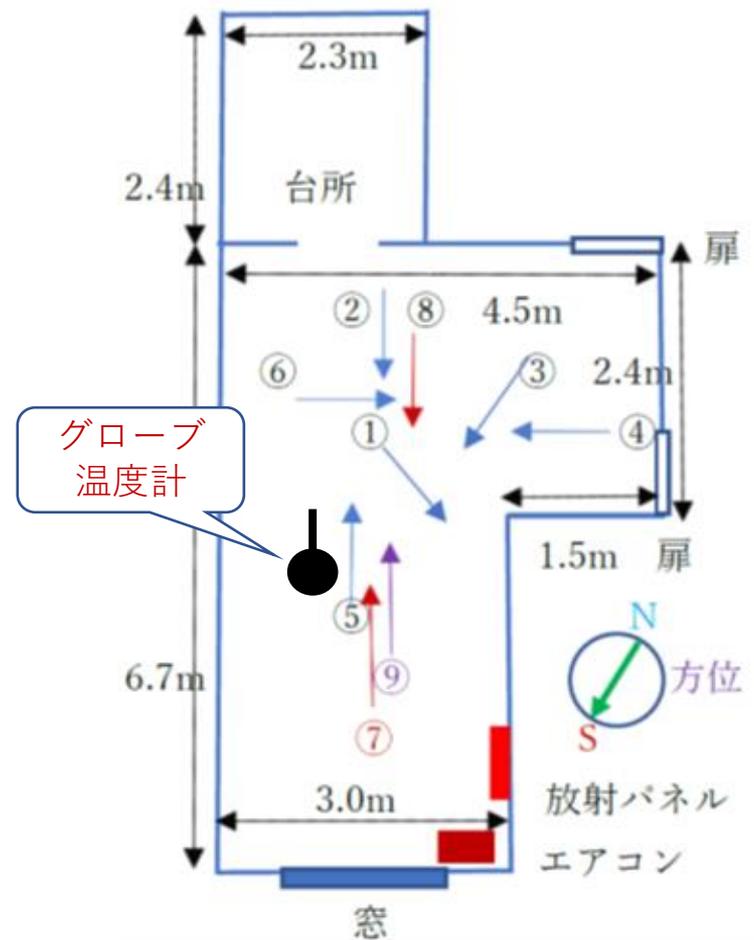
1 設置状況等

約29㎡の部屋に設置、測定

- 輻射パネルは部屋の南東隅に設置
- 室奥（東壁北）には届きにくい設定



輻射パネル設置状況



設置位置・赤外線撮影方向

2. 輻射パネルの効果の確認 <暖房時>

3 パネルの表面温度

パネルの表面温度は状況に応じて大きく変化

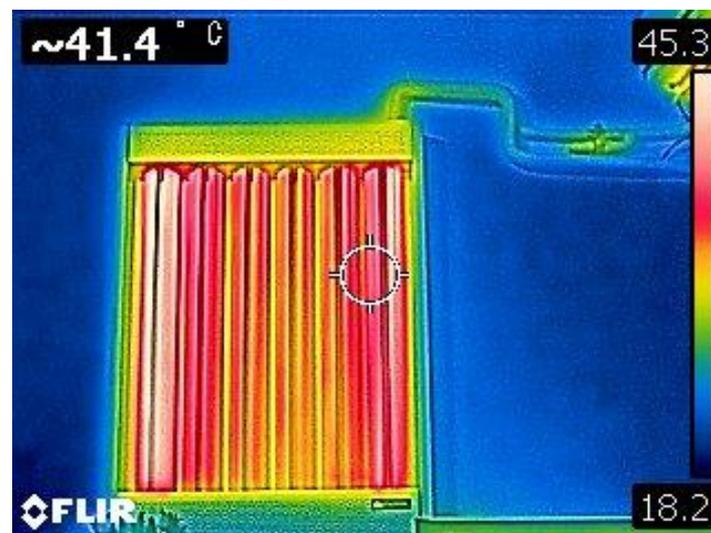
30°C～60°C程度で変動

平均47.5°C 最大60.1°C 最低37.1°C

パネルのサイズは

外寸H120 × W82 × T12cm

ふく射面 H88 × W72cm



運転時パネル赤外線画像

2. 輻射パネルの効果の確認 <暖房時>

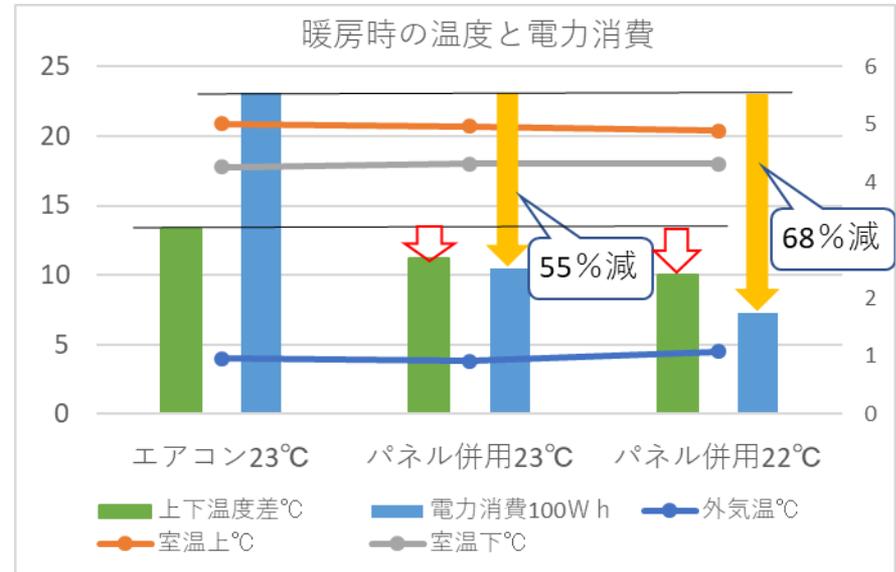
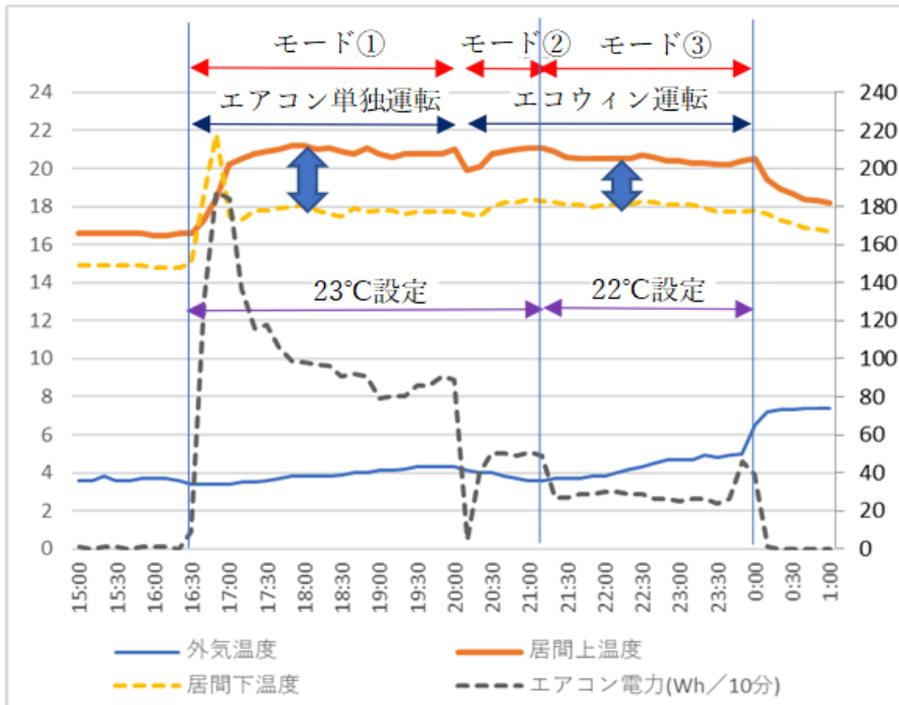
4 詳細電力量比較

エアコンと輻射パネル併用の比較 (1)

パネル併用は、室温は低め、
床近傍温は高め (上下温度差小)
電力消費量は 1 / 2 以下

温度と電力消費量比較

評価時間帯	モード	温度 °C				消費電力 Wh
		外気	居間上	居間下	上下温度差	
17:30~20:00	①	4.0	20.9	17.8	3.2	555
20:10~21:10	②	3.8	20.7	18.0	2.7	252
21:30~24:00	③	4.5	20.4	18.0	2.4	175



テスト結果 (3月21日)

2. 輻射パネルの効果の確認 <暖房時>

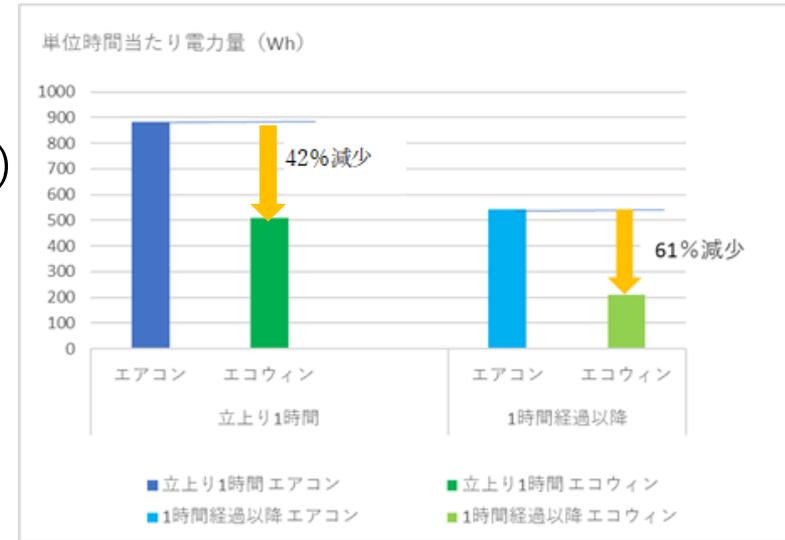
4 詳細電力量比較

エアコン単独と輻射パネルの比較 (2)

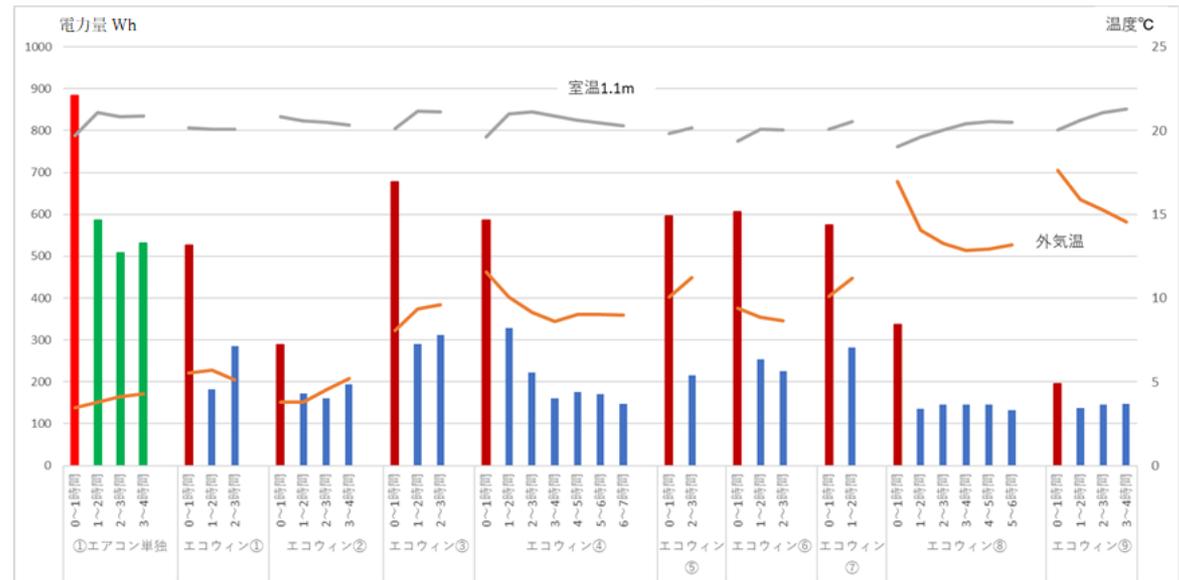
数日間の測定結果が右下図

立上り時と定常運転時を分けて消費電力を比較したのが右図

平均電力消費は
立上り時で**42%**
定常時で**61%**の削減



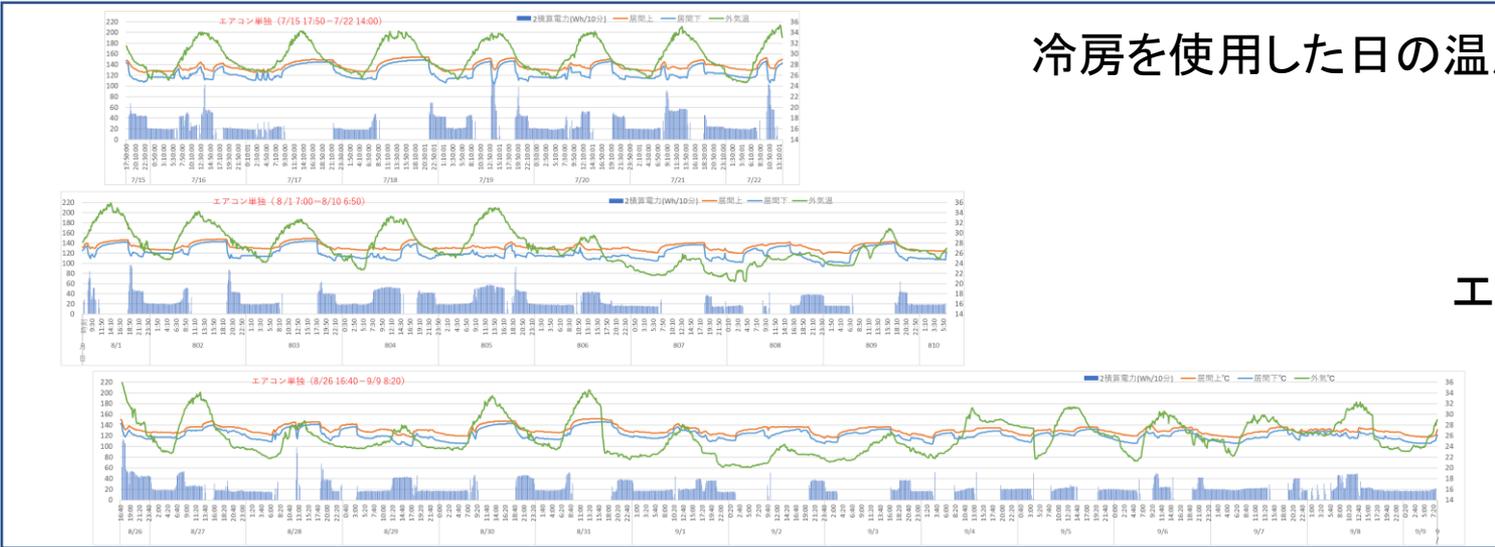
消費電力比較



エアコンとパネル併用の比較

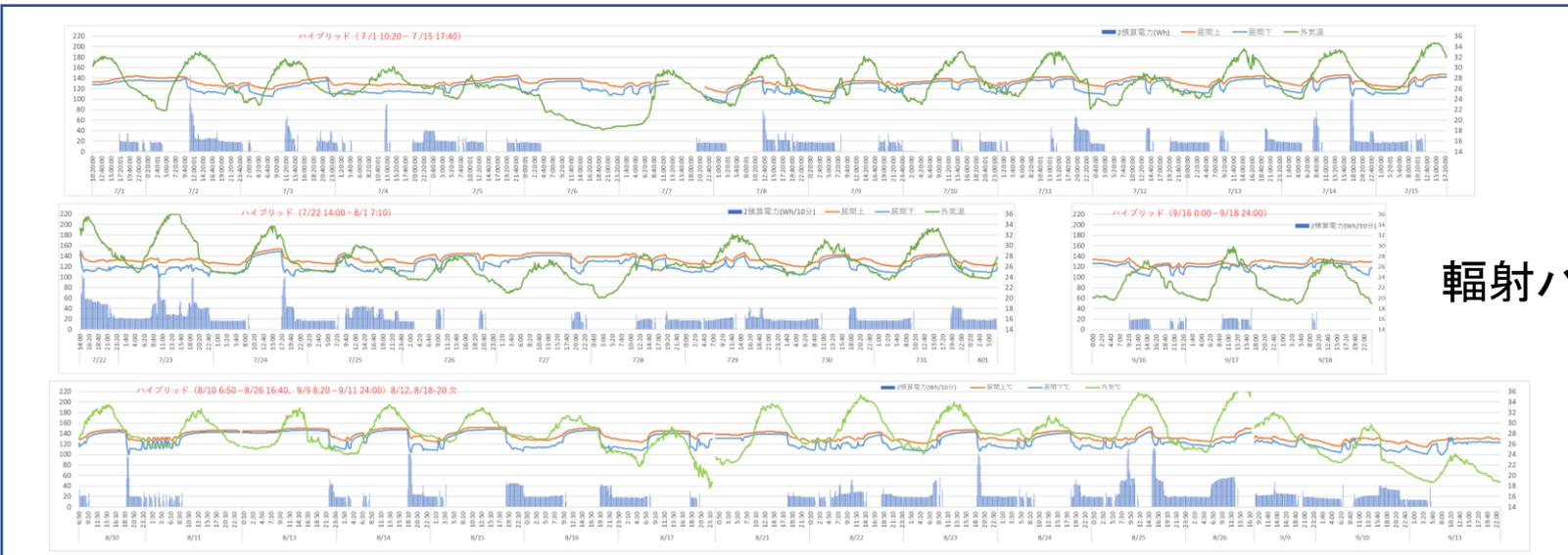
3. 輻射パネルの効果の確認 <冷房時>

1 室温、外気温、電力消費の日変化



冷房を使用した日の温度・電力量推移

エアコン

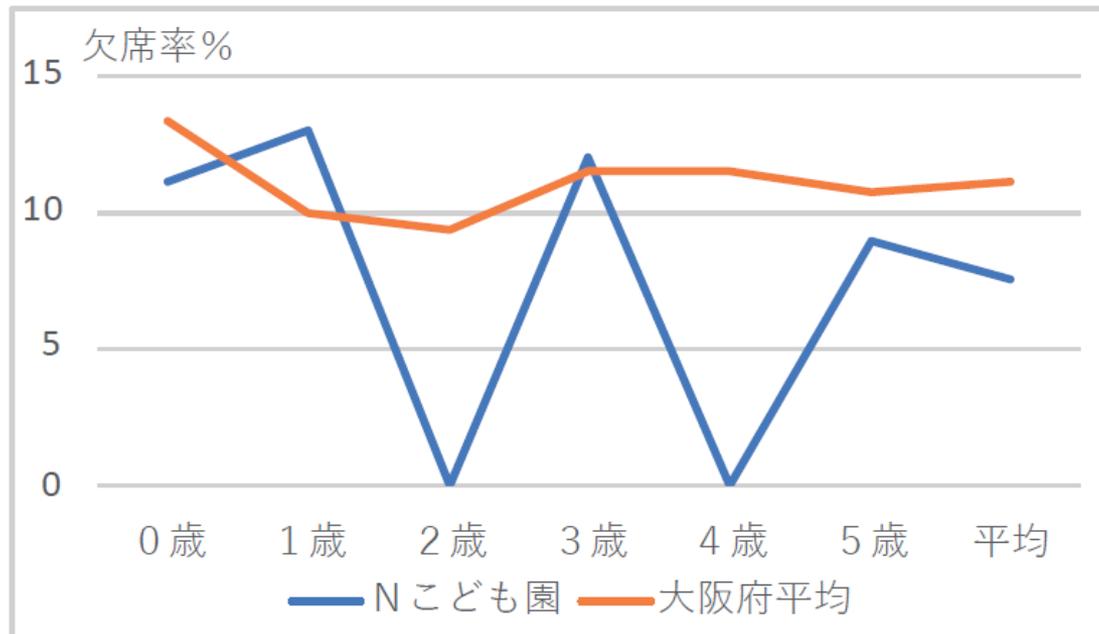


輻射パネル併用

3. 輻射パネルの効果の確認<欠席率>

1 こども園での欠席率調査

インフルエンザによる欠席率の比較



Nこども園と近隣施設(大阪府下)との比較

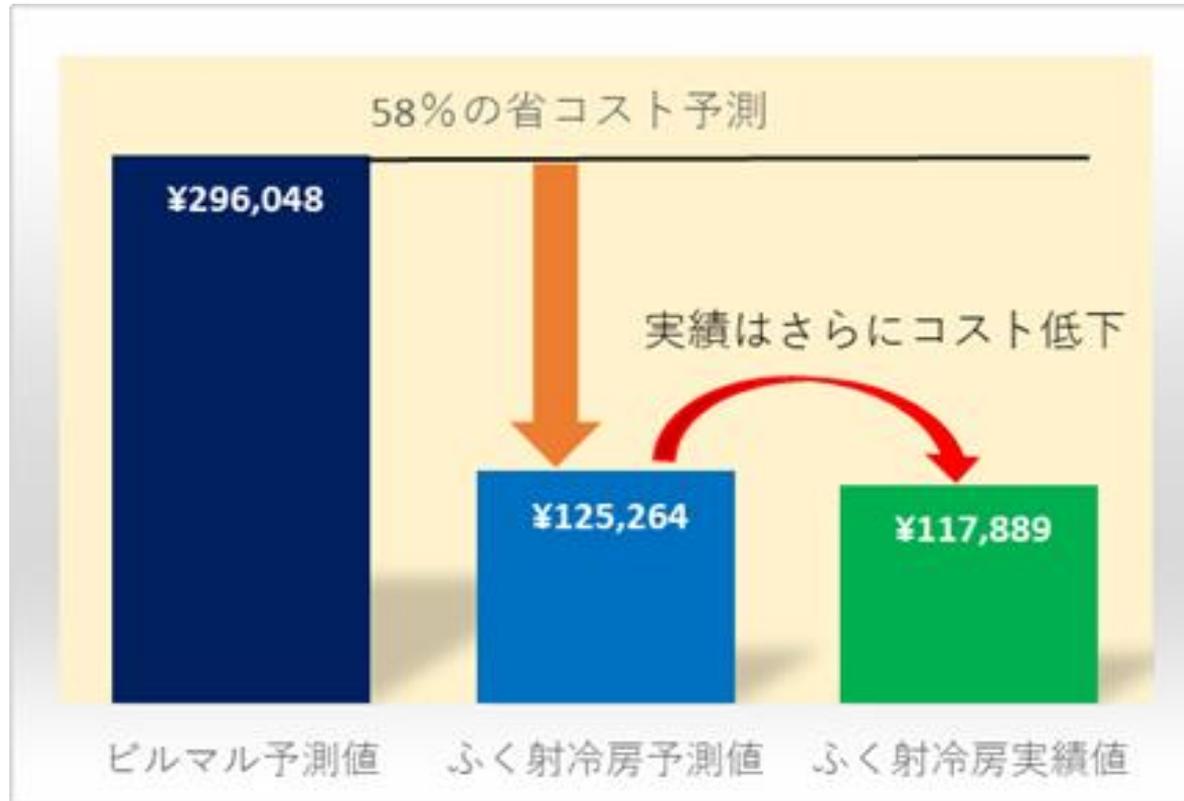
Nこども園では輻射暖房を使用

輻射暖房は室温を低くできるので、湿度を高く保てる

3. 輻射パネルの効果の確認 <コスト比較>

2 図書館でのコスト予測

従来方式と比較した電力料金



ビルマルチとの比較（沖縄県）

実績は予測をさらに下回った

4. 施工事例

1 幼稚園

幼稚園に設置された冷温水タイプの放射パネル



遊戯室



トイレ



トイレ

子供に優しく、子供の健康性、活性度向上が期待される

4. 施工事例

2 体育館、教室、図書館

大空間に最適なシステム



図書館



上;体育館



下;教室

必要な部分のみを温める、冷やす

風がなく静かで快適

風邪を嫌う球技に向く

ご清聴ありがとうございました

