

放射（輻射）冷暖房協議会 令和元年セミナー

「放射（輻射）冷暖房システムが創る環境と人の調和」

3x3 Lab Future, 2019年10月24日（木）13：30～17：00

「放射(輻射)冷暖房システムが提供する 建築のゼロエネルギー化」

芝浦工業大学 建築学部 建築学科・教授

秋 元 孝 之

建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律の一部を改正する法律案

① オフィスビル等に対する措置

- ・省エネ基準への適合を建築確認の要件とする建築物の対象に、中規模＊のオフィスビル等を追加
＊ 延べ面積を300 m²とすることを想定。現行は大規模（延べ面積2000 m²以上）のオフィスビル等が対象
- ・省エネ性能向上計画の認定（容積率特例）＊の対象に、複数の建築物の連携による取組を追加
＊ 認定を受けた場合、省エネ性能向上のための設備について容積率を緩和

② マンション等に対する措置

- ・届出制度における所管行政庁による計画の審査を合理化＊し、省エネ基準に適合しない新築等の計画に対する監督体制を強化
＊ 民間審査機関の評価を受けている場合に所管行政庁による省エネ基準の適合確認を簡素化

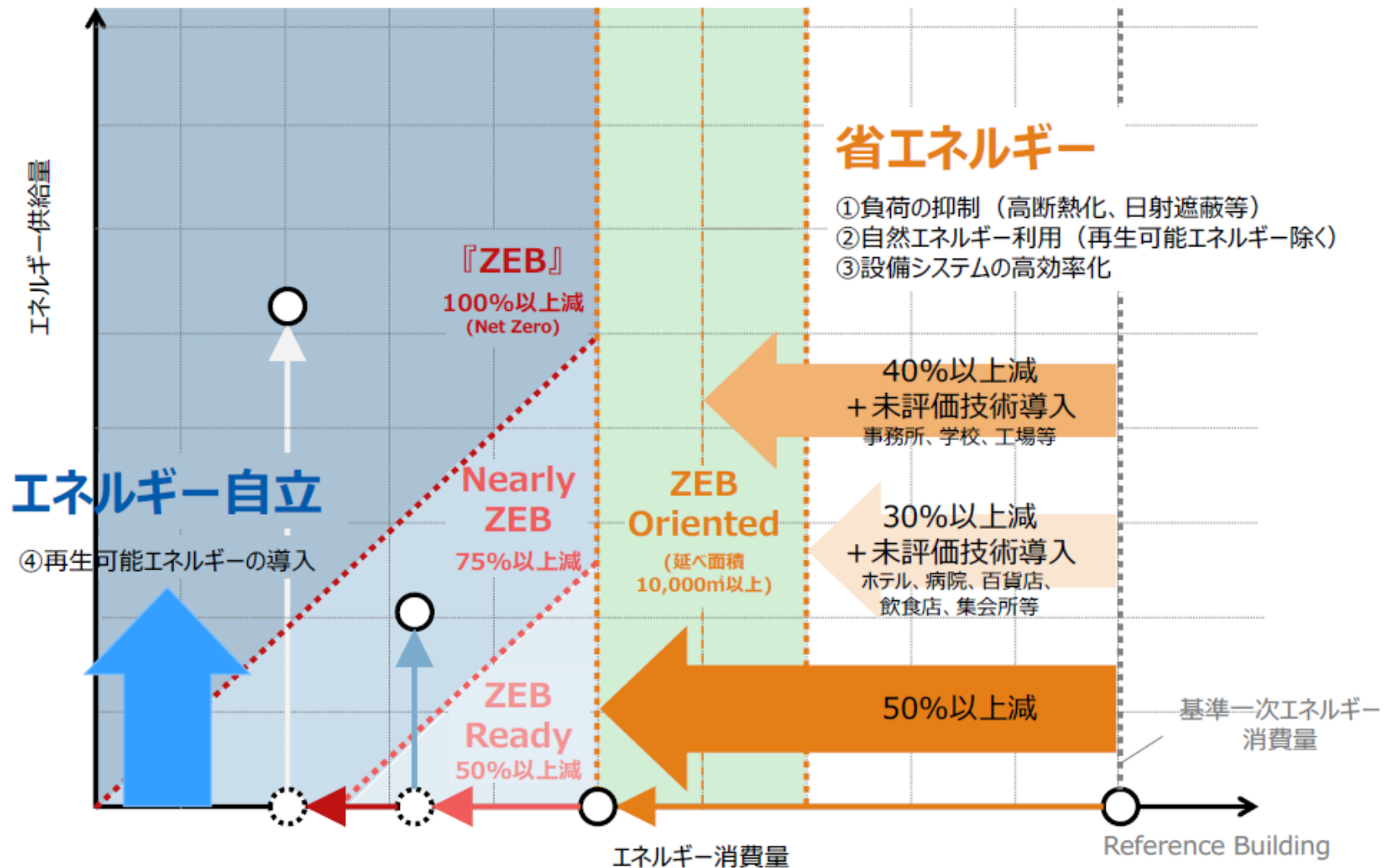
③ 戸建住宅等に対する措置

- ・設計者である建築士から建築主に対して省エネ性能に関する説明を義務付ける制度を創設
- ・トップランナー制度＊の対象に、注文戸建住宅・賃貸アパートを供給する大手住宅事業者を追加
＊ トップランナー基準（省エネ基準を上回る基準）を設定し省エネ性能の向上を誘導。現行は建売戸建住宅を供給する大手住宅事業者が対象

④ その他の措置

- ・気候・風土の特殊性を踏まえて、地方公共団体が独自に省エネ基準を強化できる仕組みを導入等

ZEBの定義（イメージ）



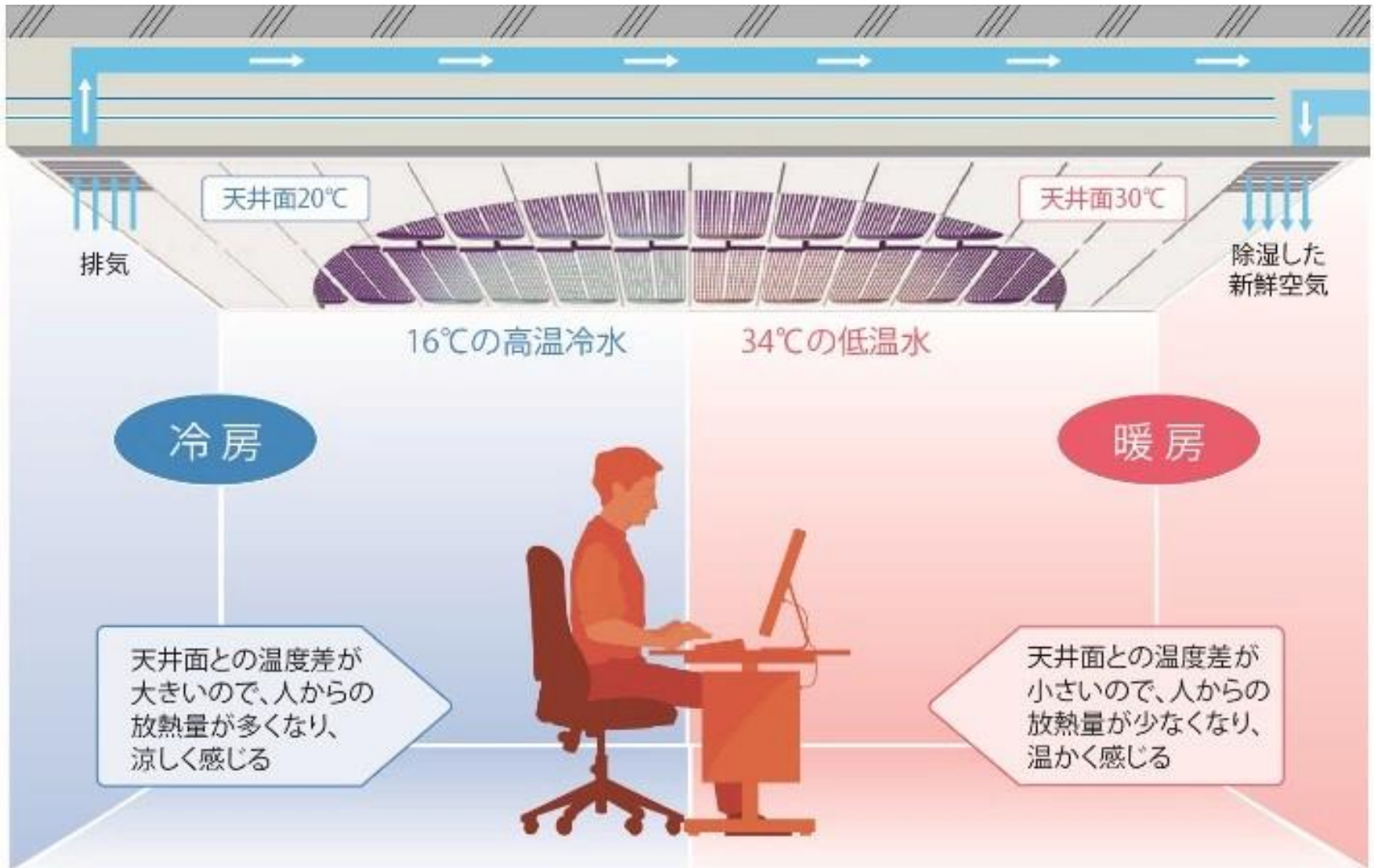
【出所】平成30年度 ZEB ロードマップ フォローアップ 委員会 とりまとめ (案), 平成31年2月

放射冷暖房システムの特徴

- 室内の天井面、壁面などを冷却または加熱することで、室内温熱環境を調整するシステム。
- 媒体としては水や空気が用いられ、パネルを用いたシステムや躯体に配管を埋め込むシステムなどが普及している。
- ドラフト感が小さい。
- 室内の温度分布が小さい。
- 室内設定温度の緩和が可能。
- 送風音が無いため静穏である。
- 媒体に水を使用する場合は、搬送動力の低減に加え、冷房時には高い、暖房時には低い熱媒温度での空調が可能となるため、自然エネルギーの利用や熱源の効率化が期待できる。

- 放射（輻射）冷暖房協議会は、平成28年7月に放射冷暖房システムの普及を目的として、**水式放射パネルメーカー4社**が集まり設立された。
- システムを選定、利用するにあたり、わが国では製品・技術についての客観的、統一的な評価基準などがなく、水放射パネルメーカーを含む関係事業者の個別かつ独自努力にてこれら課題を解決していた。
- しかしながら、それには限界があり非効率であったため、**関係事業者**
に共通した技術課題の解決や**建築物保有者・利用者への認知・普及課題への対応**を協力して進めるために設立された。
- 所属会社（アイウエオ順）
（株）インターセントラル、（株）クボタケミックス、（株）ササクラ、
（株）トヨックス

放射冷暖房システムのイメージ

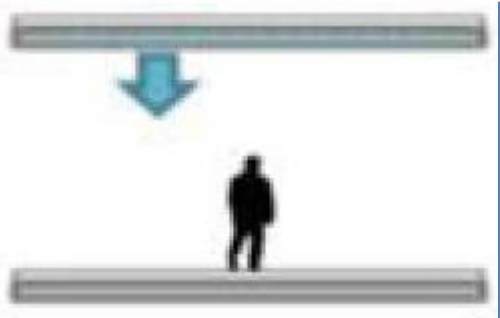
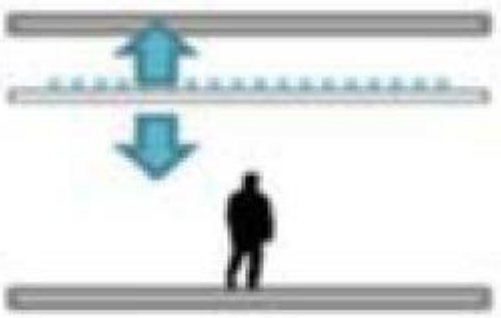
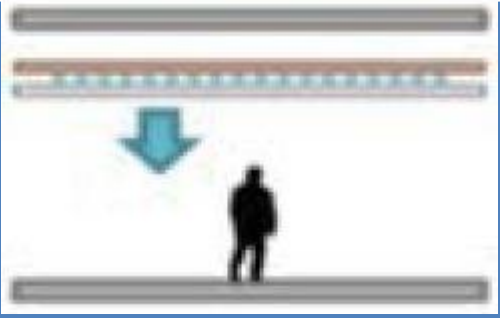


従来の空調システムは対流式空調システムと呼ばれ、冷却・加熱した空気によって空調を行う。一方、放射空調は、天井面などを冷却・加熱し、空気を介さない放射による熱交換、および室内空気と冷却・加熱面との自然対流による熱交換を行う。

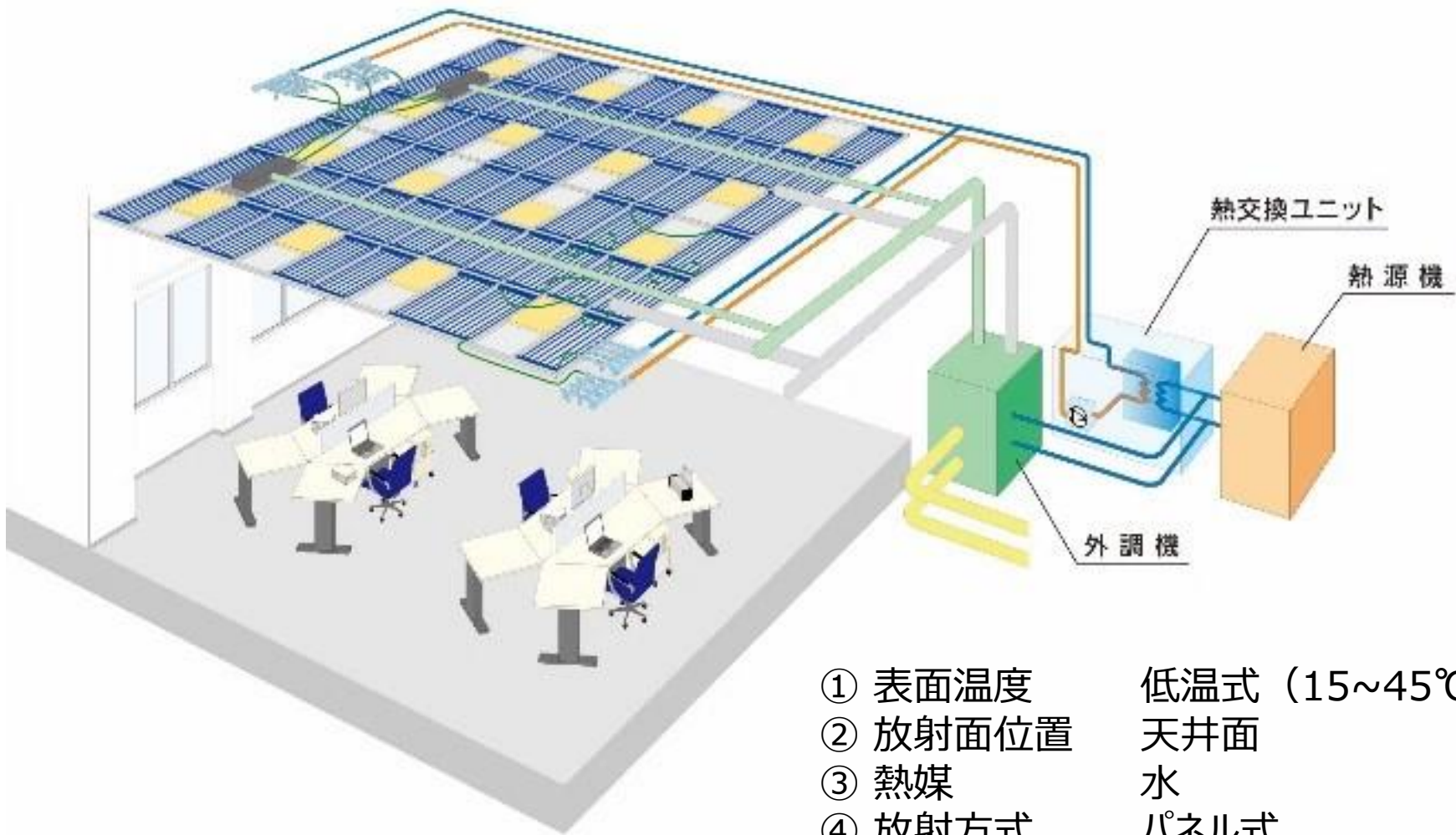
熱媒によるシステムの特徴

	メリット	デメリット
共通	・快適性が高い ・省エネルギー性が高い ・温度分布が均一	—
水	・搬送動力が低い ・熱媒温度の緩和が可能 ・自然エネルギーとの親和性が高い ・熱源の高効率化が可能 ・静穏性に優れる	・外気導入・潜熱処理用の空調が別途必要 ・水損リスクが高い ・立ち上りの制御方法が未確定 ・イニシャルコストが高い
空気	・湿度調整が可能 ・外気導入量が多い用途に対応可能 ・負荷変動に対応しやすい ・パッケージエアコンでも対応可能	・水式に比べ省エネルギー性に劣る ・水式に比べ放射処理熱量が低い ・投資対効果が小さい

放射方式による分類と特徴

			
分類	躯体埋込方式 (TABS等)	パネル方式 断熱無し	パネル方式 断熱有り
熱媒	水	水	水
特徴	◎ 躯体蓄熱 ◎ 連続運転 △ 放熱量の調整	◎ 躯体蓄熱 ◎ 連続運転	◎ 室内への放熱 ○ 天井裏の影響を受けない

天井パネル式放射空調



- | | |
|---------|--------------|
| ① 表面温度 | 低温式 (15~45℃) |
| ② 放射面位置 | 天井面 |
| ③ 熱媒 | 水 |
| ④ 放射方式 | パネル式 |
| ⑤ 運転方法 | 放射面の結露なし |

天井パネル式放射空調の長所(快適性、省エネ)

- ① 空気を媒体とせず、放射で直接体温と調和させるので身体への負担が少なく心地よい。
- ② 風量が少なく室内の気流速度が低いため、静寂性が高く、冷温風の直撃もないことから快適性が高い。
- ③ 天井面を使って熱のやり取りをするので、室内上下に均一な温度となり、部屋全体をむらなく冷暖房できる。これにより足元が冷えたり、頭や顔が火照ったりしない。
- ④ 冷房時に設定温度を 2℃程度高くしても、放射の効果で同等の快適性が得られる。その結果、エネルギー使用量を削減できる。
- ⑤ 16℃～34℃の水が使用できるため、地下水や地中熱、フリークーリングなどの自然エネルギーとの親和性が高く、省エネルギーが期待できる。
- ⑥ 搬送動力が水は空気の 4 分の 1 ですむため、大幅な省エネルギーになる。

天井パネル式放射空調の短所(コスト、除湿、能力)

- ① 天井全体が設備面であり、放射パネルや部材などもまだ完全には汎用化していないため、現状では**イニシャルコストが高い**。
- ② これまであまり重視されていなかった**湿度管理をきちんと行う必要がある**。そのため快適性は高まるが、その部分の設備費がかかる。
- ③ 採用できない建物や場所がある。**熱負荷が高いサーバールームや、常に外気が入るロビーやエントランスなどには向かない**。天井が高い劇場や体育館も採用には十分な検討が必要になる。
- ④ 穏やかな空調であり、長時間いても体への負担が少ない反面、**急激に冷やす（温める）事ができない**。たとえば、夏に汗だくで戻ってきたときなどは物足りなさを感じる人もいる。

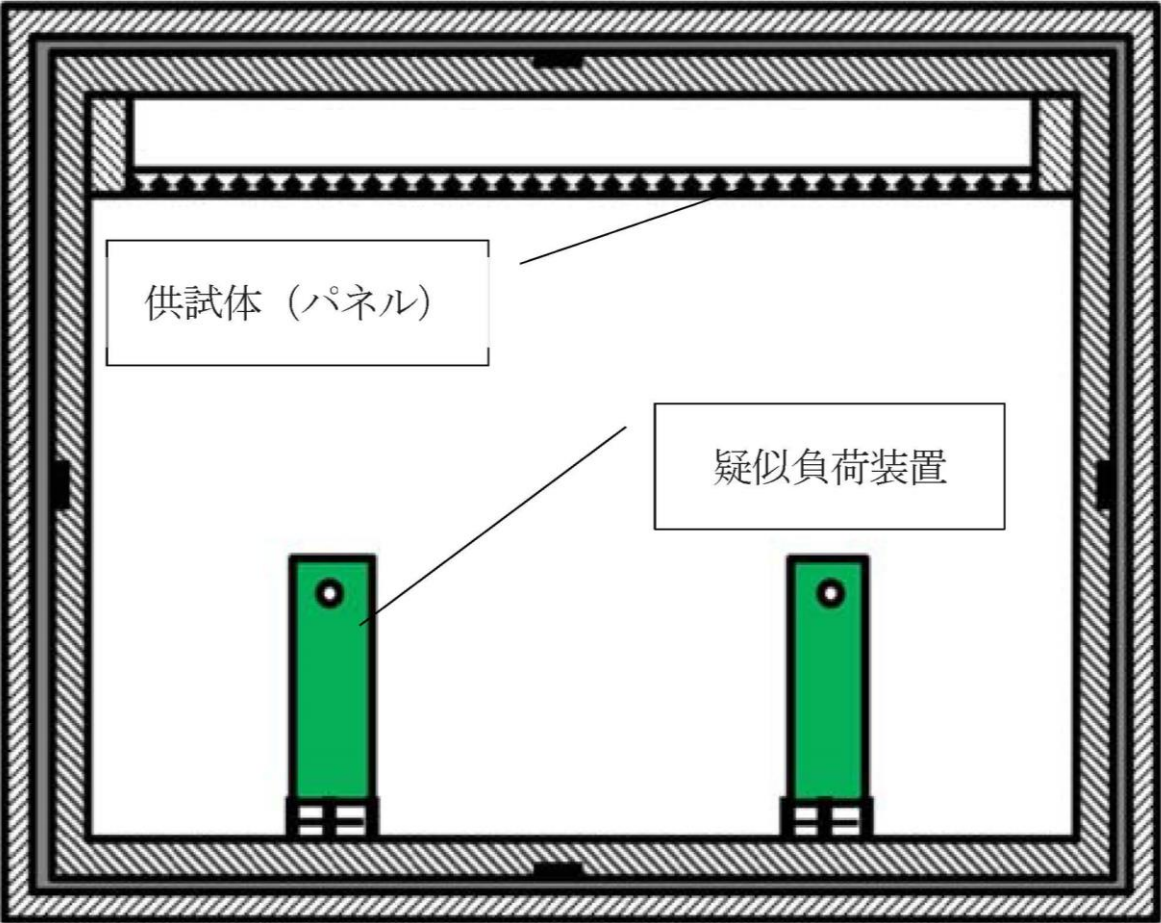
ARCH規格の概要

- 天井放射冷暖房パネル性能試験規格書（ARCH 2017 CHTRS Ver.1.1）として2017年3月に制定された。
- 水を媒体とした天井放射パネルの冷却能力・加熱能力を決定するための測定条件及び測定方法を規定する。
- 天井放射パネルの能力比較ができ、測定結果が再現可能であり、信頼性のある製品データを得ることができる。
- ARCH規格書は、下記の7項から構成されている。
 - ① 目的、② 定義、③ 用語・定義・記号、③－1 冷却能力測定、③－2 加熱能力測定、④ 測定規格、⑤ 測定結果報告、⑥ 試験設備・施設、⑦ 能力表示

ARCH規格の概要

- ARCH規格書における天井放射パネルの能力表示において定格冷却能力、定格加熱能力は、室内空気温度と冷却水・加熱水平平均温度の温度差とし、それぞれ $\Delta t_c = 8 \text{ K}$ 、 $\Delta t_h = 15 \text{ K}$ に対する冷却・加熱能力としている。
- 試験設備等は 1)、2) のいずれかに該当することとしているが、EN規格とARCH規格は同じと考えてよい。
 - 1) EN規格の認定を受けた試験設備、施設。
 - 2) ARCH2017 CHTRS Ver1の規定を満たし、かつ同一構造の製品の測定結果が再現性の担保されている試験設備等による結果とEN認定試験設備による試験結果の差異が4%以内であること。

ARCH規格の試験室概要



	項目	ARCH 規格 (EN 規格も同じ)
試験室	L:W 比	0.5 以上
	室内高さ	2.7～3.0m
	床面積	10～21 m ²
	供試体設置 高さ	2.6m
	供試体敷設率	70%以上
	内表面放射率	0.9 以上
	外部⇔内部 平均熱流量	0.4W/m ² 以下
	侵入空気量	差圧 50Pa 時 0.8L/s/m ² 以下
	床、天井、壁	任意温度設定可
疑似負荷装置	寸法	φ0.3×H1.1m
	発熱体 (1 台)	60W×3 = 180W 以下
	配置数	偶数 (12 台)
	受持床面積	0.9～1.35 m ² /台
精度	表面放射率	0.9 以上
	温度センサー	±0.1K 以内
	温度センサー 構成	±0.05K 以内
測定	流量計	±0.5%以内
	基準温度	床上 1.1m 黒球温度
	定常状態保持	60 分間
	定常 基準温度	0.05K 以内
	定常 室内表面温度	0.5K 以内
	平均送水温度	0.05K 以内
	冷水流量変動	1%以内

ISO/TC 205 : 建築環境設計

Building environment design

新築建物及び既存建物の改修の設計において、許容できる室内環境と実効性のある省エネルギーのための標準化を行う。室内環境は空気質、温熱、音、光の要素を含む。

但し、下記の事項は除く。

- 他の人間工学的要素
- 大気汚染質、及び温熱・音・光の特性の測定方法
- 建築環境機器と断熱の性能試験・格付けの方法

WG8 : 放射暖冷房システム

Radiant heating and cooling systems

ISO 11855

Building environment design — Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems

- 2012年に発行された放射暖冷房システムに関する最初の国際標準である。
- 新築建物及び既存建物における放射暖冷房システムの能力を決定するための方法や条件を示している。
- 熱供給、水分配システム、パネル、放射暖冷房システムの制御に関する設計条件を規定している。

ISO 18566

Building Environment Design — Design, test methods and control of hydronic radiant heating and cooling panel systems --

- 放射暖冷房システムに関する2つ目の国際規格である。
- 放射冷暖房パネルシステムの技術仕様および要件、天井取り付け放射パネルの加熱・冷却能力の試験設備・試験方法、天井取り付け放射パネルの設計方法・プロセス、天井取り付け放射パネルの制御について示している。

ISO 18566の適用範囲

- ISO 11855は開放空隙（オープンエアギャップ）のない埋め込み放射冷暖房システム用であり、ISO 18566は開放空隙を有するパネルシステム用である。
- 開放空隙を有する放射暖冷房パネルの加熱・冷却能力、制御の決定のための設計、試験条件・方法を規定する。
- 天井、壁、床などの部屋周辺部の一部であるすべてのタイプのプレハブ式放射パネルに適用される。
- 天井、壁または床構造およびハイブリッド（熱放射と強制対流を組み合わせた）天井パネルに埋め込まれたパネルをカバーしていない。

輻射空調を導入した市庁舎における Webプログラムを用いた試算例

「SDGs 未来都市における市庁舎のZEB 実現に関する研究（第1報） 計画概要と空調計画」
左 勝旭，渡邊啓生，高橋好美，川原大喜，小林美子，園田雄飛，菊池卓郎，和田一樹，空気
調和。衛生工学会大会学術講演論文集，2019.9.18-20（札幌）

建物概要



建築地	神奈川県横浜市
建物用途	市庁舎・議会・商業
竣工	2020年1月（予定）
敷地面積	13,155 m ²
建築面積	7,932 m ²
延床面積	142,627 m ²
規模	B2・F32
高さ	155 m

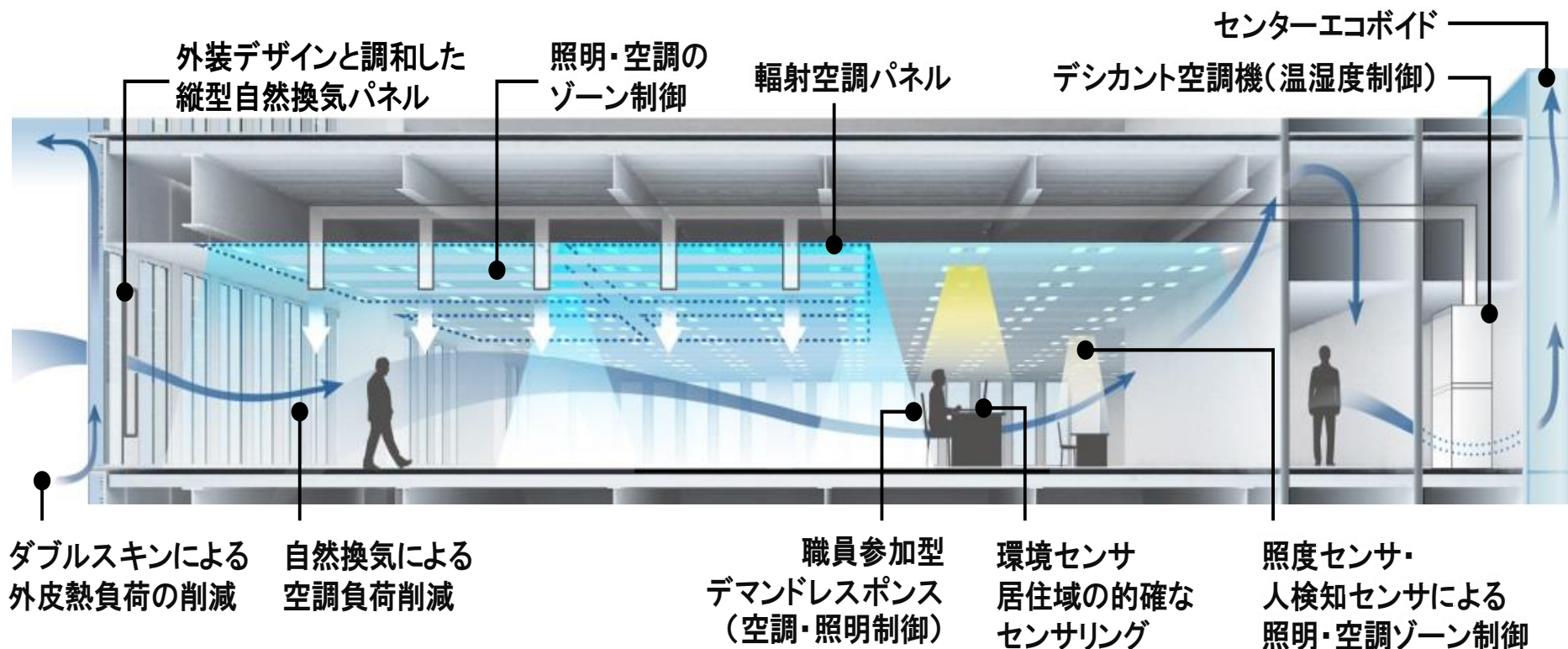


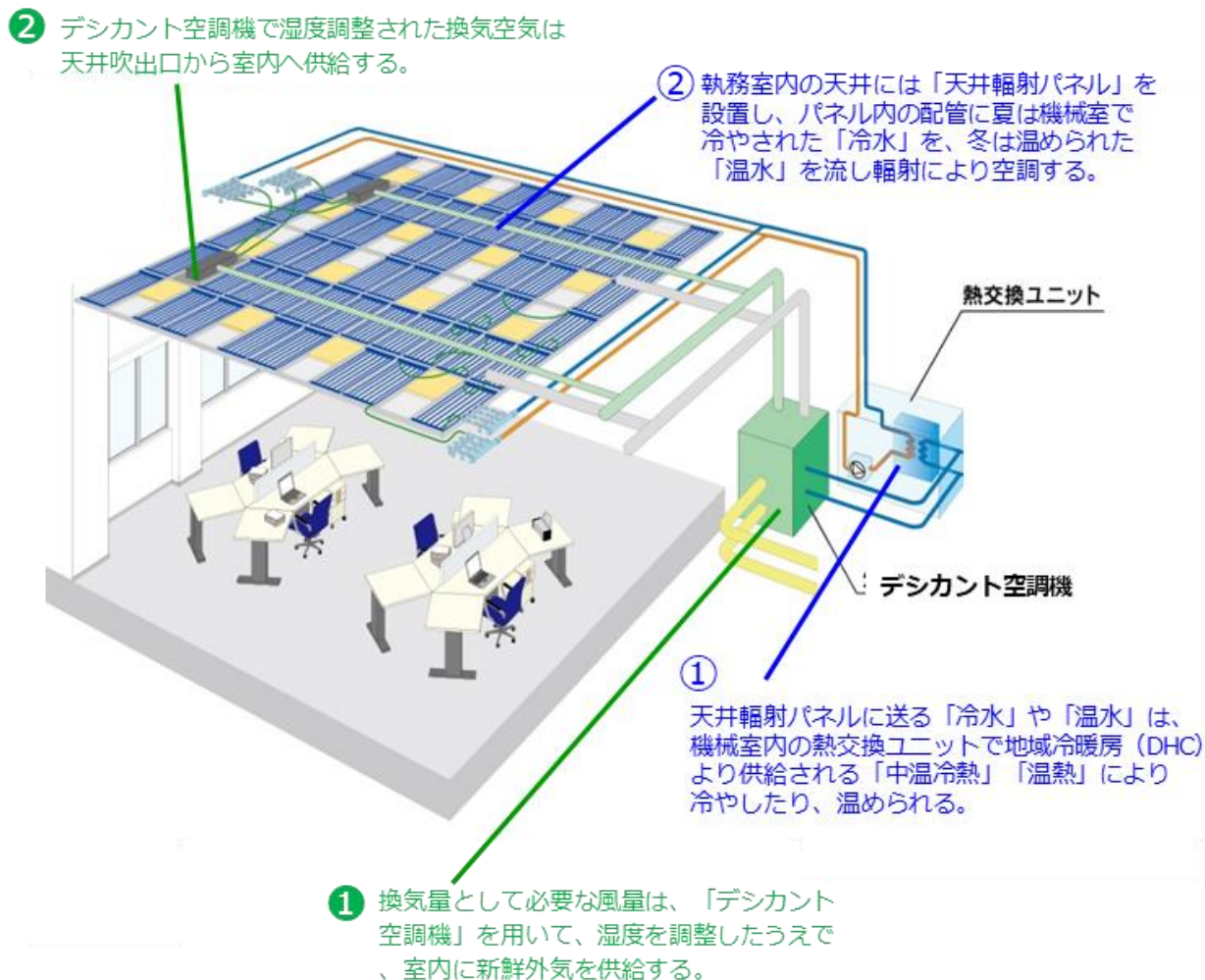
建物外観パース

環境・設備計画概要

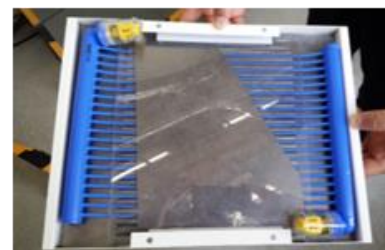
基準階

建築・設備・IoTをインテグレートした快適な低炭素型市庁舎の実現





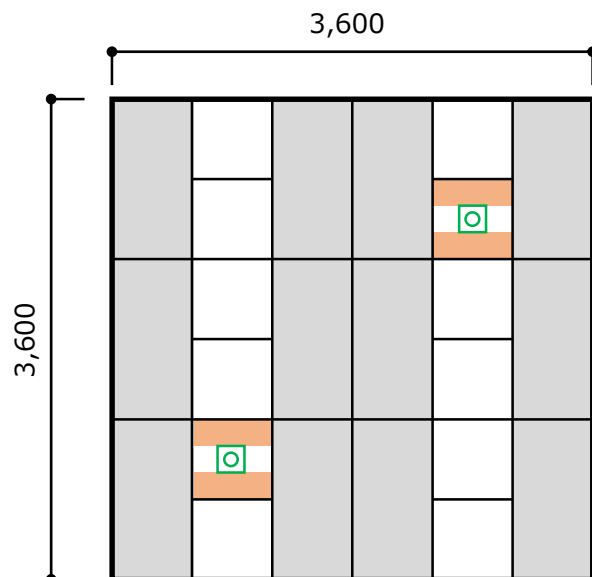
「天井輻射パネル」の事例サンプル→
(青く見えるものが熱を伝える配管)



執務室空調計画

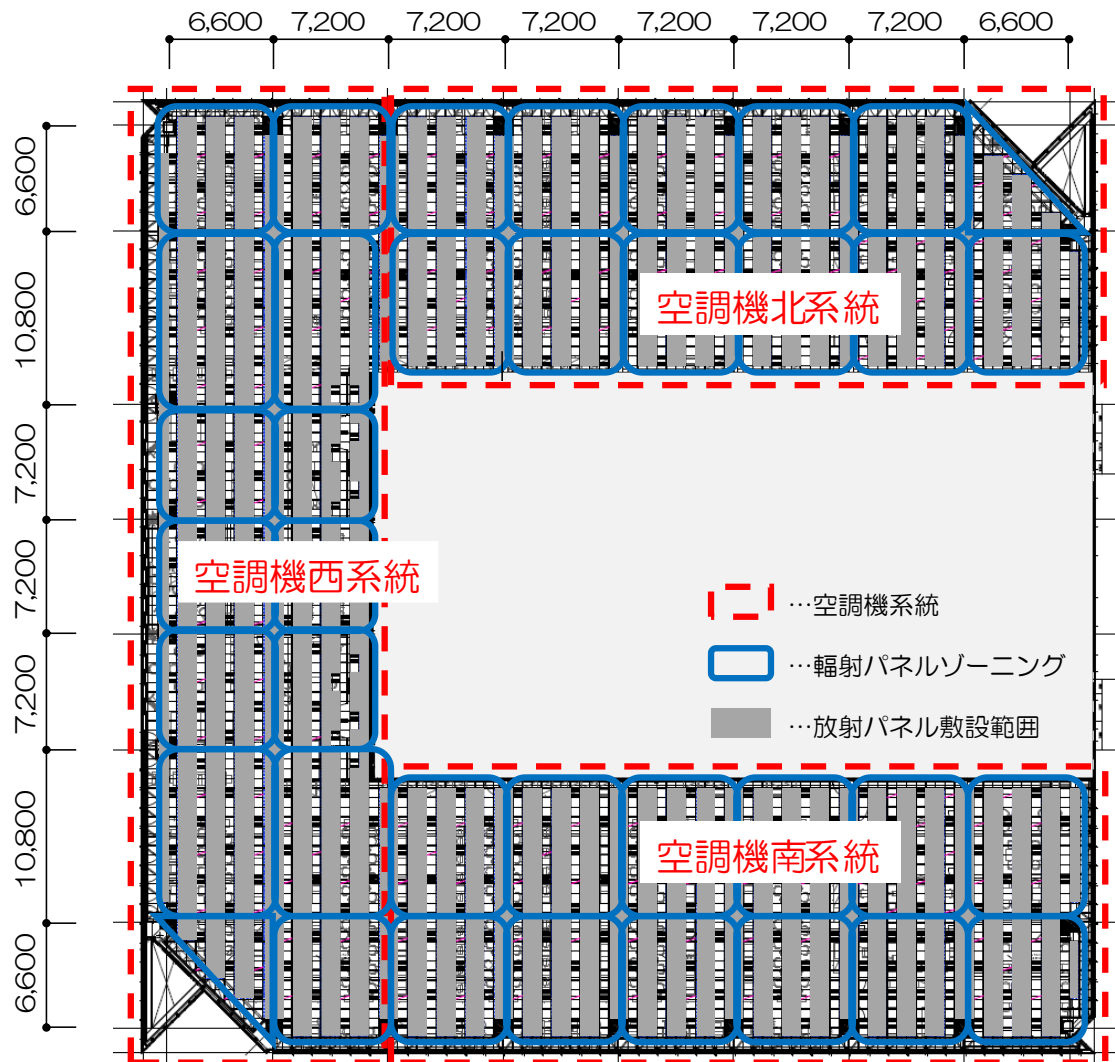
放射空調システム計画

【天井輻射パネルのモジュール】



- 輻射パネル
- 照明
- 小風量吹出口

図 放射パネル敷設範囲
(モジュール当たり)



- ...空調機系統
- ...輻射パネルゾーニング
- ...放射パネル敷設範囲

図 放射パネル敷設範囲（フロア当たり）

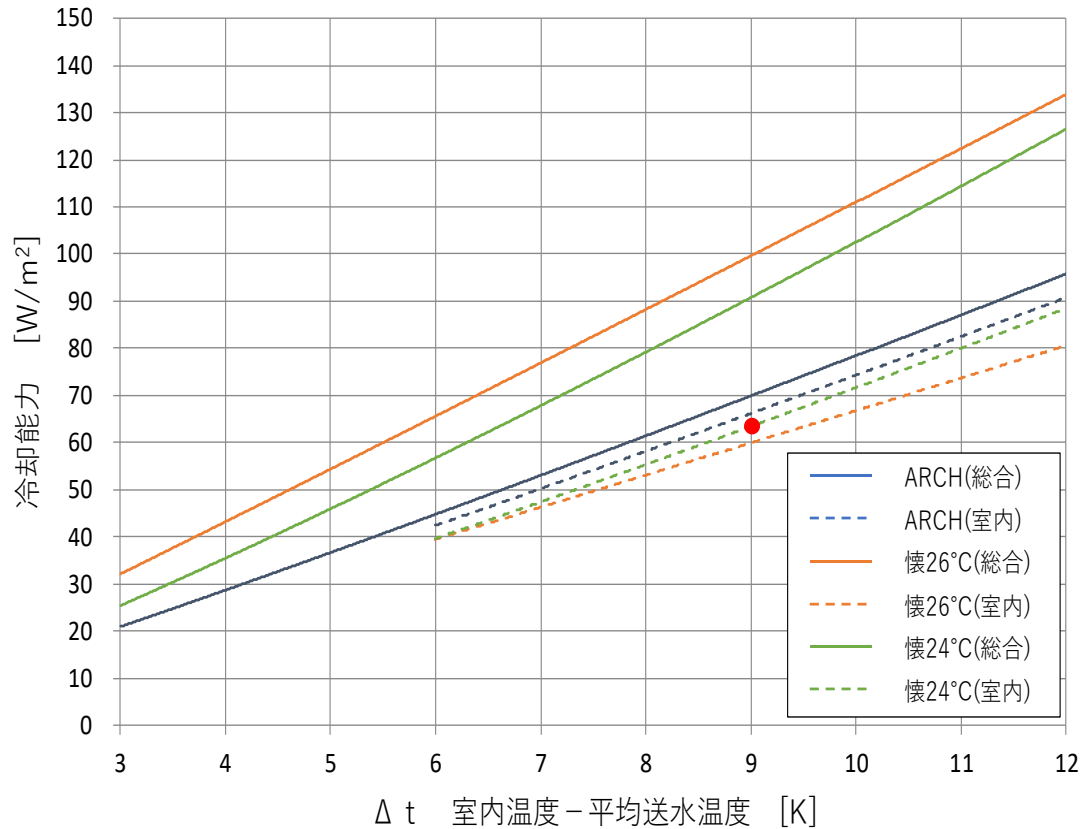


図9 放射パネル冷却能力

表2 供試体（パネル）概要

主 要 構 造	輻射マットエレメント	パ ネ ル 材 質	アルミ鋼板 $t=1.0$
サ イ ズ (mm)	$584 \times 1184 \times 8$	パ ネ ル 表 面 積	$0.691m^2/枚$ (=冷却有効面積)
表 面	$\phi 1.0 \times P5$ 吸音穴 塗装仕上げ	天 井 周 辺	閉鎖天井

表3 測定条件

①	測定室基準温度(グローブ温度)を $26^\circ C$ 、測定室周辺壁面、床面、天井面温度を $26^\circ C$ に設定
②	擬似負荷装置を8台設置
③	冷却水送水行き温度設定を $16^\circ C$
④	測定室内における熱の侵入および、排出の熱収支を試験室内全ての境界面からの熱収支 P_B 、擬似負荷装置の総熱量 PS 、総冷却能力(総吸熱量) PC とし、下記式を満たす条件で測定 $ (PB + PS + PC) \leq 0.05PC$
⑤	定常状態にて、1時間測定を行い、平均値を求めた(測定記録間隔30S)
⑥	冷却水流量は、流量計で、 $2.74L/min$ に設定 $0.66L/min/m^2 \times 0.691m^2 \times 6枚 \approx 2.74L/min$
⑦	配管経路内封入圧力は、 $0.2MPa$ に設定

空調機入力シートの入力

- 空調機タイプ

「天井放射冷暖房パネル」を選択。パネルに熱を搬送するためのポンプの消費電力を入力。

- 天井放射冷暖房パネル

放射（輻射）冷暖房協議会による天井放射冷暖房パネル性能試験規格書（ARCH2017CHTRS）に基づき試験された定格冷却能力（室内温度と平均送水温度の温度差**8K**）、定格加熱能力（室内温度と平均送水温度の温度差**15K**）を入力。

（・・・夏**9K**、冬**11K**による検討結果も算出している。）

- 変**風量**時最小風量比

変**流量**として最小流量設定値を定格流量に対する比率（%）で入力。

様式 2-7. (空調)空調機入力シート

送風機→ポンプ

① 空調機群名称	② 台数 [台]	③ 空調機タイプ (選択)	④ 定格冷却(冷房)能力 [kW/台]	⑤ 定格加熱(暖房)能力 [kW/台]	⑥ 設計最大外気風量 [m3/台]	送風機定格消費電力				⑪ 風量制御方式 (選択)	⑫ 変風量時 最小風量比 [%]	⑬ 予熱時外気取り入れ停止の有無 (選択)	⑭ 外気冷房制御の有無 (選択)	⑮ (選択)
						⑦ 給気	⑧ 遠気	⑨ 外気	⑩ 排気					
AHU-〇〇F-〇〇系統	1	空調機	〇〇	〇〇	〇〇			〇〇		回転数制御	〇〇	有	有	
	1	送風機			〇〇				〇〇	回転数制御	〇〇	無	無	
	558	天井放射冷暖房パネル	0.06	0.04		0.007				回転数制御	40	無	無	
	14	天井放射冷暖房パネル	0.06	0.04		0.007				回転数制御	40	無	無	
	14	天井放射冷暖房パネル	0.06	0.04		0.007				回転数制御	40	無	無	

ポンプ INV制御

年間エネルギー収支の予測

表4 年間エネルギー収支予測結果

項目	設計値1 (2017年) GJ/年 (MJ/延床m ² 年)	設計値2 (2018年) (GJ/年) (MJ/延床m ² 年)	設計値3 (2019年) (GJ/年) (MJ/延床m ² 年)	基準値 (GJ/年) (MJ/延床m ² 年)
空調設備	77,802.08 (542.37)	72,371.51 (504.51)	64,290.39 (448.18)	108,150.67 (753.93)
換気設備	9,459.99 (65.95)	9,459.99 (65.95)	9,446.47 (65.85)	28,619.56 (199.51)
照明設備	19,284.36 (134.43)	17,148.15 (119.54)	14,860.57 (103.59)	37,877.88 (264.05)
給湯設備	8,111.79 (56.55)	8,074.80 (56.29)	3,987.76 (27.8)	2,320.50 (16.18)
昇降機	9,458.57 (65.94)	9,422.57 (65.69)	9,468.41 (66.01)	9,468.41 (66.01)
効率化設備 (太陽光)	-991.49 (-6.91)	-998.72 (-6.96)	-998.72 (-6.96)	
合計 (その他抜き)	123,990.53 (858.32)	116,290.28 (805.01)	101,766.31 (704.47)	187,736.70 (1299.68)
BEI値	0.687	0.644	0.542	

表5 未評価技術による一次エネルギー削減量

未評価項目	削減エネルギー GJ/年 (MJ/延床m ² 年)		算出方法
自然換気/ナイトページ	-2,920.93	-(20.36)	多数室熱・換気回路網解析
外気冷房	-2,298.22	-(16.02)	BESTによる熱負荷計算等
燃料電池	-7,267.70	-(50.66)	WebプログラムのCGSを準用
合計	-12,486.85	-(87.05)	