

放射（輻射）冷暖房システムが提供する 人にやさしい空間とARCH規格

芝浦工業大学 建築学部 学部長・教授
秋元 孝之



放射冷暖房システムの特徴（1）

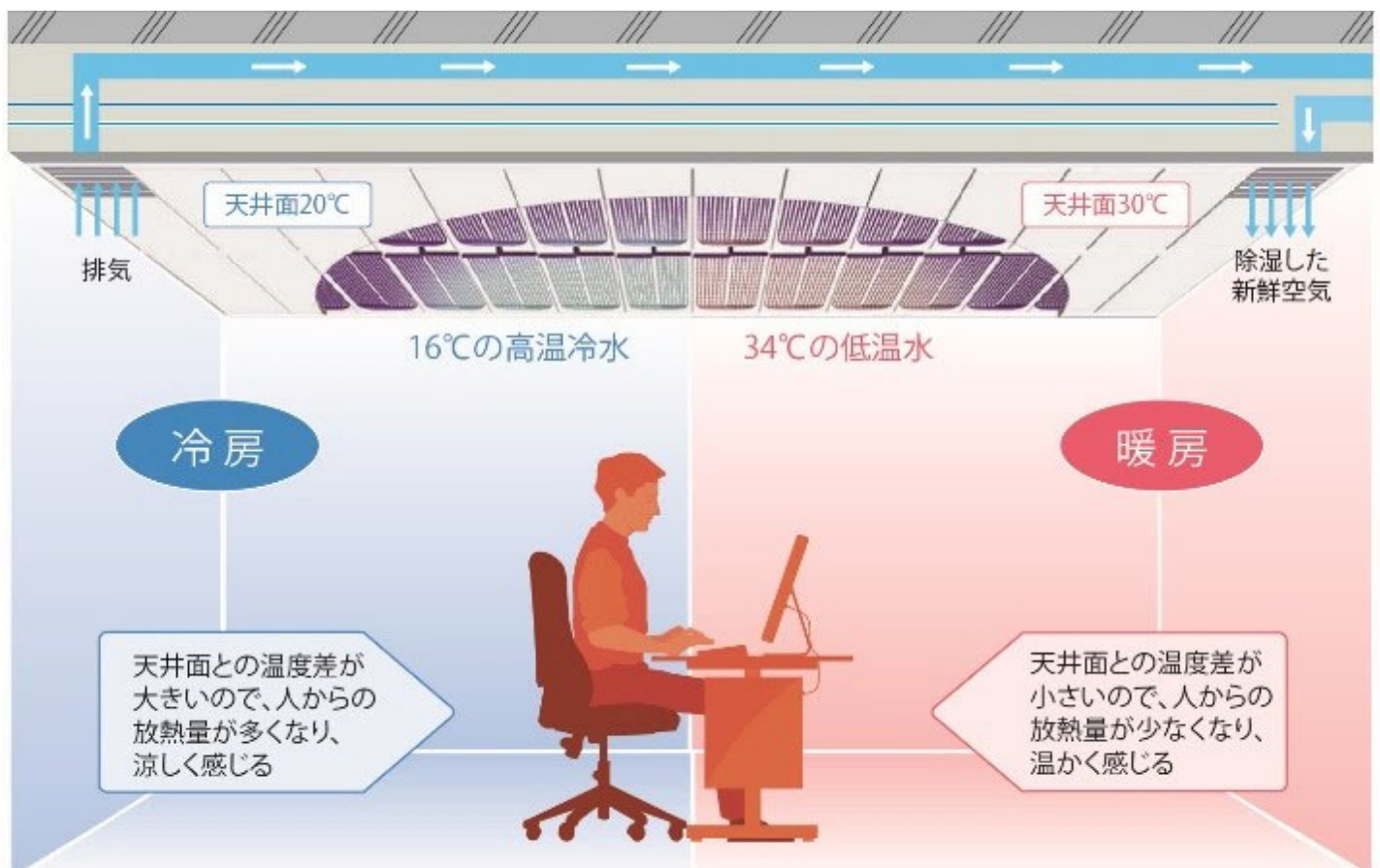
- 室内の天井面、壁面などを冷却または加熱することで、室内温熱環境を調整するシステム。
- 媒体としては水や空気が用いられ、パネルを用いたシステムや躯体に配管を埋め込むシステムなどが普及している。
- 室内に冷却加熱、加除湿した空気を給気する対流式空調方式とは異なり、天井面などを冷却・加熱し、個体間の電磁波による放射熱交換と室内空気と冷却・加熱面との自然対流による熱交換を行う。
- ドラフト感が小さい。
- 室内の温度分布が小さい。
- 室内設定温度の緩和が可能。
- 送風音が無いいため静穏である。

放射冷暖房システムの特徴（２）

- 媒体に水を使用する場合は、搬送動力の低減に加え、冷房時には高温冷水、暖房時には低温温水の熱源水による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。
- 冷房時には設定温度を2℃高くしても、放射の効果で温熱快適性を得ることができるとされ、エネルギー消費量を削減することができる。
- 16℃から34℃の水が使用できることから、井水、地下水や地中熱、フリーリングなどの活用が可能となる。
- ただし高熱負荷のサーバールーム、等には不向きであり、また、外気が侵入することによる冷房時の結露リスクのため、ロビーやエントランスへの採用に関しては工夫が必要となる。

2

放射冷暖房システムのイメージ



3

放射冷暖房システムの分類（1）

- 放射空調方式は、大きく分けて表面温度、放射面、熱媒、放射面構造、運転方法によって分類することができる。
- 放射面の表面温度帯によって低温式（15℃～45℃、冷房／暖房）、高温式（百十数℃、暖房）、赤外線式（200℃～1000℃、暖房）に分類することができる。一般のオフィスや住宅で採用される場合には、低温式を用いるのが一般的である。
- 放射面の位置には、天井面、床面、壁面に加えて、躯体に組み込まない独立式がある。住宅で採用される床暖房は、床面設置型である。
- 熱媒については、低温式の場合には、冷温水や冷温風、高温式の場合には、高温水や蒸気、赤外線式の場合には燃焼ガスや電熱を用いる。

4

放射冷暖房システムの分類（2）

- 熱媒として水を利用した場合（水式）
搬送動力が小さい、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、等のメリットがある。
一方で、外気導入・潜熱処理用の外調機などが別途必要、水損リスクが高い、立ち上がりの制御方法が未確定、インシャルコストが高い、等のデメリットがある。
- 熱媒として空気を利用した場合（空気式）
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、等のメリットがある。
水式に比べて省エネ性能の低さや放射処理熱量が小さい、等のデメリットがある。

5

放射冷暖房システムの分類（3）

- 水式の放射面構造には、**躯体埋込方式**と**パネル方式**がある。
- パネル方式は、**パネルの裏面の断熱有無**によって細分類される。
- 躯体埋込方式では、躯体自体の蓄放熱を積極的に利用するものは、**TABS（Thermo Active Building System）**とも呼ばれている。
- 空気式では、**ダクト接続方式**や**チャンバー利用方式**がある。
- **冷房時**の運転方法には、放射面の結露を許容しない**結露無し**と、許容する**結露有り（除湿効果あり）**のものがあるが、天井パネル方式では一般的に結露無しの運転となることが多い。
- **水式放射パネル方式**の場合には、**顕熱処理のみ**が行われて、**潜熱処理は別途、外調機や除湿機**が用いられる。

6

放射冷暖房システムの分類

表面温度	放射面	熱媒	放射面構造	運転方法
低温式 15～45℃ (冷房/暖房)	天井面	水	躯体埋込 (TABS等)	放射面の 結露無し
高温式 (百数十℃) (暖房)	床面	空気	パネル 裏面断熱有、無 (配管方式)	放射面の 結露有り
赤外線式 200～1000℃ (暖房)	壁面	併用式		
	独立式		パネル (ダクト/ チャンバー方式)	

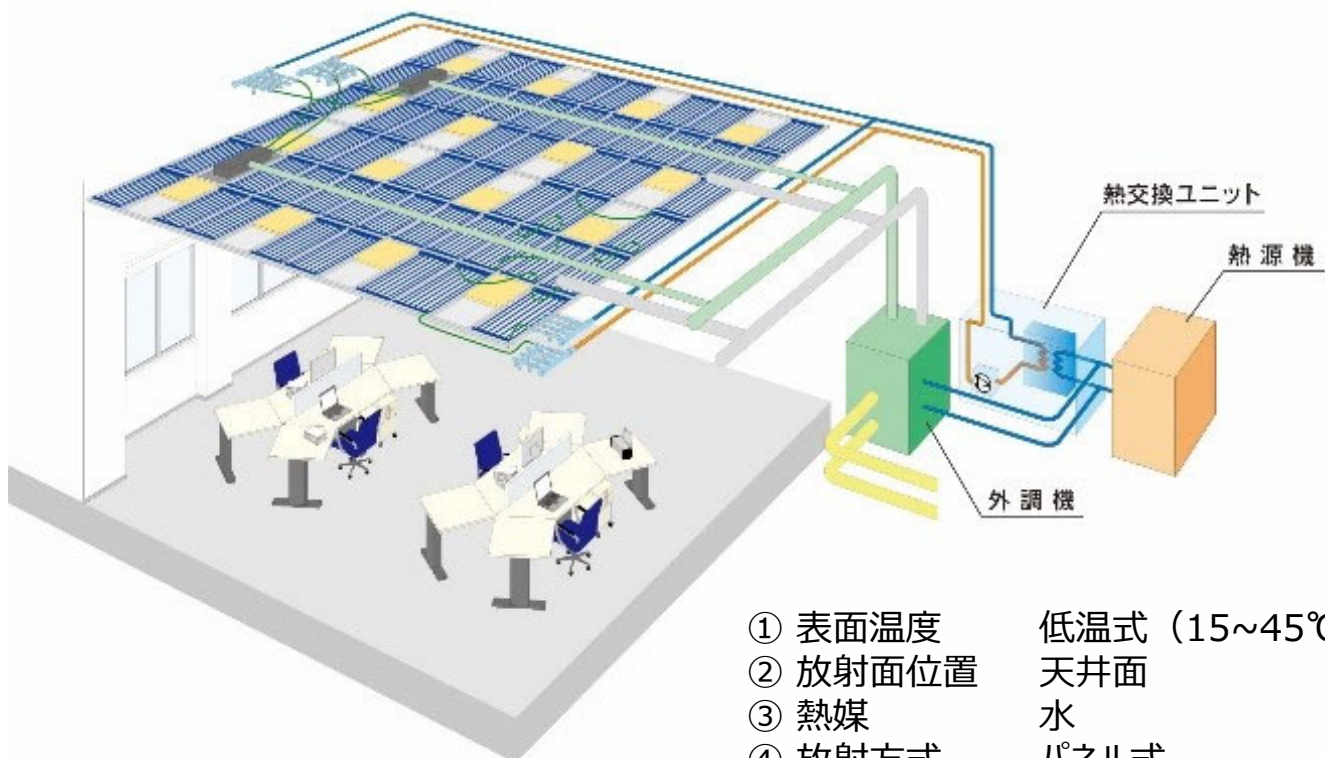
7

熱媒と放射面構造の分類

システムイメージ					
分類	躯体埋込 (TABS 等)	パネル 断熱無し	パネル 断熱有り	ダクト接続	チャンバー 利用
(a) 熱媒	水	水	水	空気	空気
(b) 放射面 構造	躯体埋込	パネル	パネル	パネル	パネル

8

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 |

9

天井パネル式放射冷暖房パネルの性能試験方法

- 放射パネルの統一的規格は、2004年に現EN規格が設定されており、近年ASHRAEおよびISOにおいても規格が整備されつつある。
- 日本ではオフィスなどの内部負荷低減にともなって普及が進みつつあるが、これまで天井放射パネルの評価基準が確立されていなかったため、メーカーが独自の基準で使用を決定していた。
- 天井パネル式放射空調の計画・設計においても技術基準や設計手順が確立されておらず、設計者の経験に頼ることが多かった。
- そこで放射(輻射)冷暖房協議会の規格として、2017年3月に天井放射冷暖房パネル性能試験規格書 (ARCH 2017 CHTRS) が制定された。
- 「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」に基づくエネルギー消費性能計算プログラムにおいても、この規格に則ったパネルの定格能力を入力することになっている。

10

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) 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項目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

11

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。
- 試験設備等は下記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。

12

測定規格 <冷却能力測定規格>

- 供試体の冷却能力を、定常状態で測定した冷水流量と冷水温度差によって決定する。
- 冷却能力は基準温度と平均冷水温度との温度差の関数で表すものとする。
- 温度制御した室内面を有し部屋の周囲を通しての熱流を無視できる状態で、気密性の高い部屋で測定をする。
- 供試体の冷却能力と平衡させるために、試験室内の床に電熱で加熱した数台の疑似熱負荷装置を設置して加熱をする。
- 再現性のある結果を得るために、疑似熱負荷装置を予め決められた位置に設置する。

13

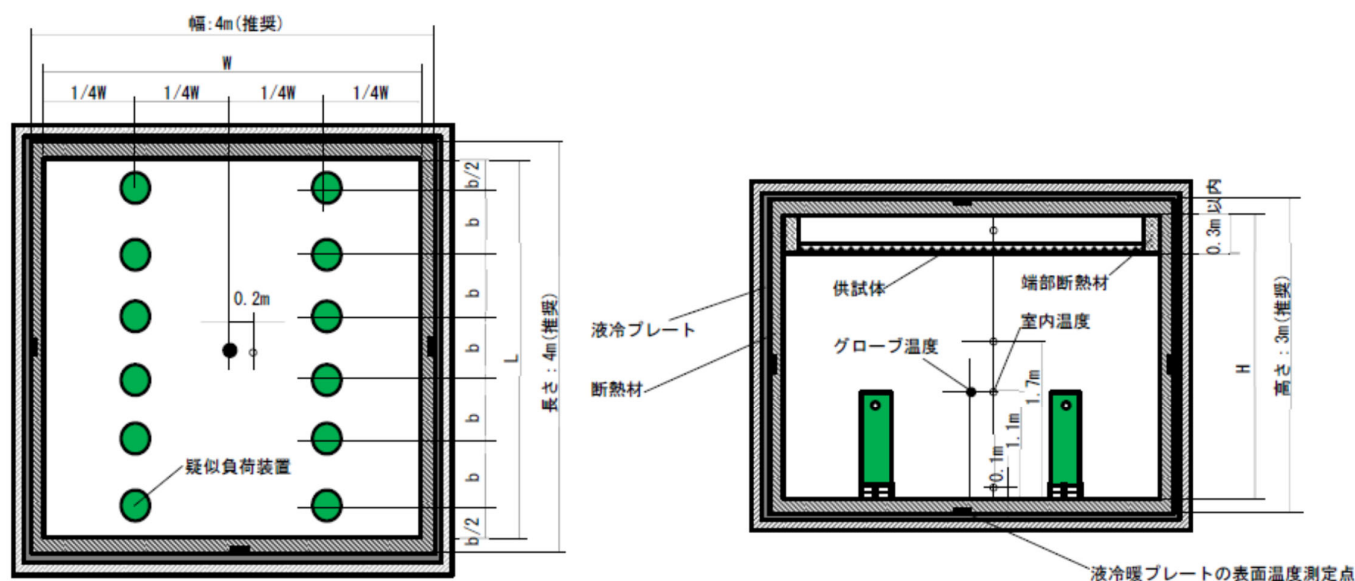
試験室の概要

項目	概要
幅：長さ比	0.5 以上 4.0m×4.0m (推奨)
室内高さ (断熱材内寸)	2.7m~3.0m
床面積 (断熱材内寸)	10.0~21.0m ²
侵入空気量*	差圧 50Pa 時 0.8L/(s・m ²)以内
天井・床・壁⇔平均熱流量	0.4W/m ² 以下
天井・床・壁 表面放射率	0.9 以上
天井・床・壁 表面温度	個別温度調整が可能なこと

* 侵入空気量の面積は、試験室の6面の表面積とする

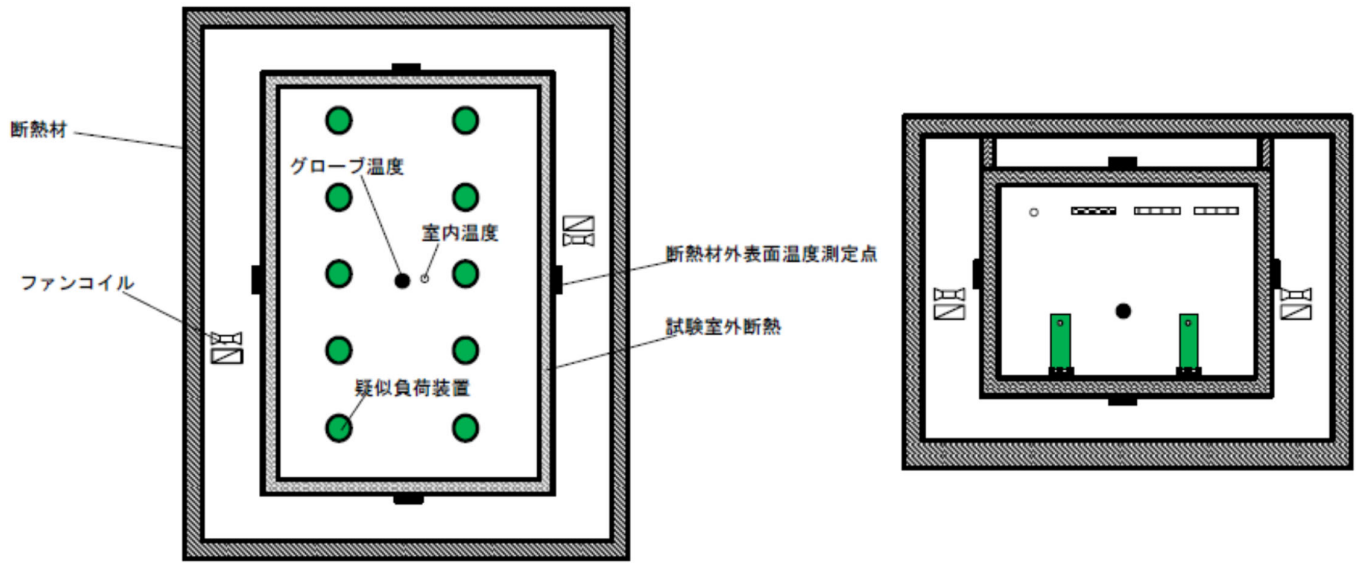
14

閉鎖型冷却天井、疑似熱負荷装置および温度計測点の配置を示した試験室（液冷密閉型試験室）の事例

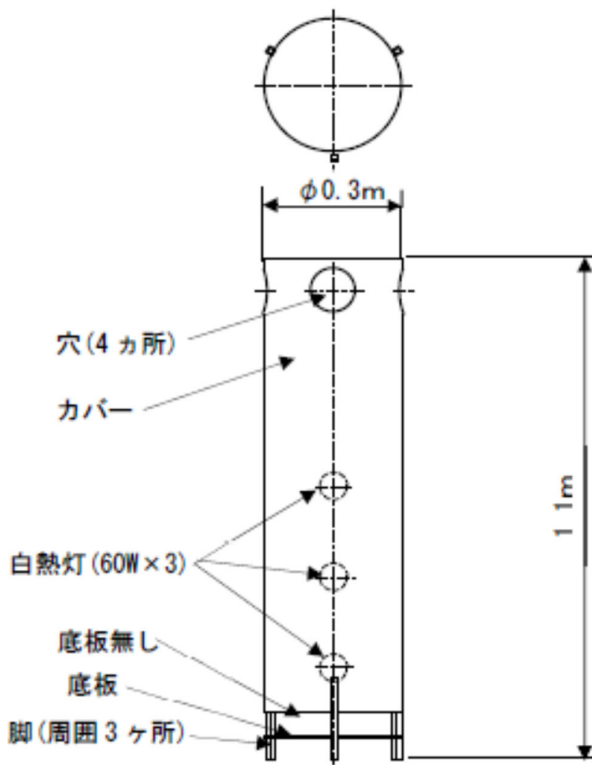


15

開放型冷却天井、疑似熱負荷装置および温度計測点の配置を示した試験室（空冷暖2重密閉試験室）の事例



疑似熱負荷装置



項目	概要
寸法	$\phi 0.3\text{m} \times \text{H}1.1\text{m}$
発熱量	$60\text{W} \times 3 = 180\text{W}$ 以下 連続可変
材質、表面仕上げ、放射率	鋼板、塗装仕上げ、0.9 以上
受持ち床面積および数量	$0.9 \sim 1.35\text{m}^2$ /台、偶数
配置（短手）	中心線対称 2 列 間隔：試験室幅 1/2
配置（長手）	間隔：試験室 長さ/列の疑似 負荷装置数 両側：疑似負 荷装置間隔/2

供試体の概要

項目	概要
裏面処理（断熱材）	有無および仕様を明記
敷設率	70%以上 $R_i = A_i / A_t > 0.7$
供試体設置天井裏高さ	0.3m 以内
供試体設置	基本天井面中心
供試体周辺	開放または閉鎖を明記
供試体への配管	保温（熱伝達率 $4W/(m^2 \cdot K)$ 以下）

18

計測器の概要

項目	概要
疑似負荷電力量	等級 1.0 以上
空気温度（防輻射熱）	測定精度：±0.1K 以内
表面温度	測定精度：±0.1K 以内
冷却グローブ温度（Φ60～Φ150mm）	測定精度：±0.1K 以内
冷却水温度	測定精度：±0.1K 以内 較正精度：±0.02K 以内
冷却基準温度・冷却水温度	較正精度：±0.05K 以内
冷却水流量計	測定精度：±0.5%以内、重量法による較正

19

計測の概要

定常状態 (60 分間の標準偏差)	冷却基準温度 : 0.05K 室内表面温度 : 0.5K 冷却水平均温度 : 0.05K 冷却水流量 : 1.0%
冷却試験温度差 (Δt_c [K])	最低 6,8,10[K]の 3 温度
冷却水流量	定格流量
冷却基準温度	22~27°C 試験室中央、床高さ1.1m グローブ温度
冷却室内空気温度	冷却基準温度より 0.2m 離れる (放射の影響を受けない事)
熱収支 P_B : 試験室境界面からの熱量 P_S : 擬似負荷装置の発熱量 P_C : 供試体冷却熱量	$ P_B + P_S + P_C \leq 0.05P_C$ (1)

20

測定結果の表示についての概要

項目	概要
P_C : 冷却能力 C_p : 比熱 f_{mc} : 冷却水流量 t_{w1c} : 冷却水行き温度 t_{w2c} : 冷却水還り温度 A_P : 供試体総冷却表面積 P_{PC} : 単位面積当たり冷却能力	$P_C = C_p \cdot f_{mc} \cdot (t_{w2c} - t_{w1c})$ (2) $P_{PC} = P_C / A_P$ (3)
特性曲線式 Δt_c : 冷却基準温度 - 平均冷却水温度 k : 特性定数 n : 指数	$P_{PC} = k \cdot \Delta t_c^n$ (4)
定格冷却能力	$\Delta t_c = 8K$

21

個々の計測値における最大の不確かさと試験室を含めた全体の不確かさ

項目	概要
測定	$r_1 : 1\%以内$
r_1 : 冷却水流量	$r_2 : 2\%以内$
r_2 : 冷却水温度差	$r_3 : 1\%以内$
r_3 : 基準温度 - 平均送水温度	$r = \sqrt{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2)} \leq 3\%$ ($\Delta t_c = 8K$ 時) (5)
試験室全体	4%以内 ($\Delta t_c = 8K$ 時の定格冷却能力)

22

まとめ

- 放射空調方式は、省エネでかつ快適性や健康性、ヒューマンファクターにも配慮した優れた環境制御手法である。
- 最近では、放射空調方式のバリエーションとして、単に天井面に放射パネルを設置するのみならず、躯体蓄熱を利用するTABS、熱交換面積を増やすためのフィンや対流促進のためのファンを組み合わせた先進的な事例も登場してきた。
- 放射空調方式は、評価のための規格に基づいて正しく設計・計画することによって、その効果を発揮することが確実となる。
- 国内における条件に合った試験設備や施設の数はまだ限定的であるが、今後その数が増えることを期待している。

23