

天井放射空調システムの設計へのCFD活用の 取り組みと課題について

はじめに

～水冷媒天井放射空調システムへのCFD解析を事例として～

第1章 OIT梅田タワーの事例より

第2章 設計段階でのCFD解析の活用

第3章 上田市庁舎の事例より

最後に

木村博則

石本建築事務所 環境統合技術室 顧問

脱炭素社会と放射(輻射)空調 ～脱炭素社会に向けた日本の取り組み～

放射(輻射)冷暖房協議会セミナー2022年3月2日

はじめに

～研究の対象になってきた設計手法～

脱炭素社会へ向かうにあたり、設計における予測する解析技術が重要になってきた

計画資料に基づいたマニュアル設計からトライ＆フィードバックによる設計へ



先行建築でのトライ＆フィードバック → 次の設計へ活かしてゆく

環境統合技術の時代

個人、組織を超えて取り組む時代へ

事例紹介

～水冷媒放射空調システムの設計へのCFD活用を事例として～

14階～18階高層階基準階

水冷媒天井放射空調方式と床吹き出し対流空調

OIT梅田タワー



3次元空間の2次元
のCFD解析モデル
化による設計効率
化の研究



3階～4階基準階

水冷媒天井放射空調方式と天井吹き出し対流空調

上田市庁舎



3次元空間CFD解析による温熱環境シミ
レーションを行い、天井放射空調方式に
よる空間デザインの設計を確認

都市の低炭素化の促進に関する法律に基づく低炭素認定第1号適合建築

OIT梅田タワー（大学キャンパス）地上22階
2016年10月竣工 延床約33800m²
2013年第2回住宅・建築物省CO₂先導事業採択

上田市庁舎（市庁舎施設）地上5階
2021年3月竣工 延床約13000m²
2018年第2回サステナブル建築物等先導事
業（省CO₂型）採択

第1章 OIT梅田タワーの事例より

OIT梅田タワー基準階 水冷媒天井放射パネル空調システムの計画のテーマ

●2005年竣工の先行事例の実績から得られたフィードバックによる設計

1. パッシブなデザインを行い、日射による空調冷房負荷削減の徹底を行う
2. 天井に占める放射空調パネルの面積率は一般的に約50%、OIT梅田タワーでは54%
3. 汎用性のある普及レベルの水冷媒天井放射パネルの能力(顕熱冷房)は、性能評価のための実験室 (ARCH 2017CHTRS Ver.1.1)での実測結果から約63W/m² (室内温度26度、送水温度18℃) から、換気の空気を活用した対流空調の併用が必要である

●本設計におけるテーマ

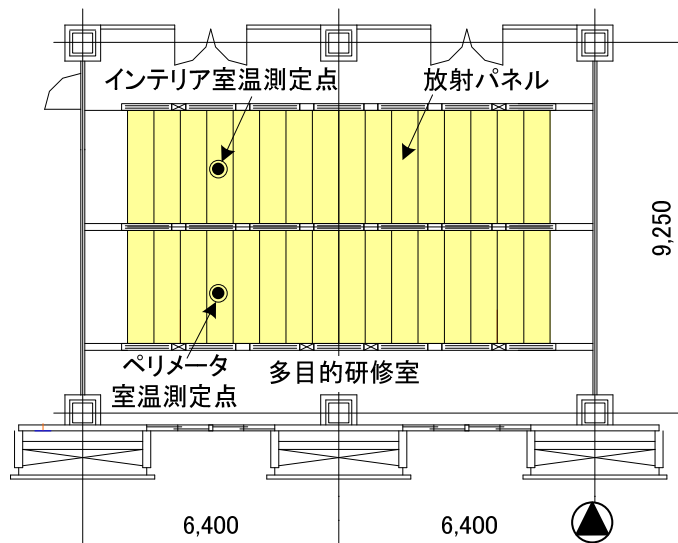
1. 個別ゾーン空調に対応できる天井放射パネル空調方式を実現する
2. 天井放射パネルの特長を活かした負荷の変化に追従できる室温制御を実現する

2005年竣工の水冷媒天井放射空調システムの会議室での計測からのフィードバック

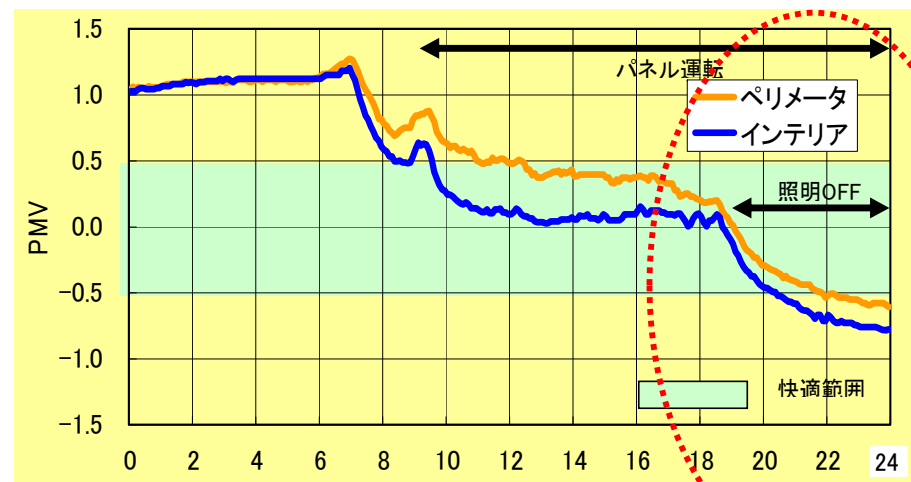
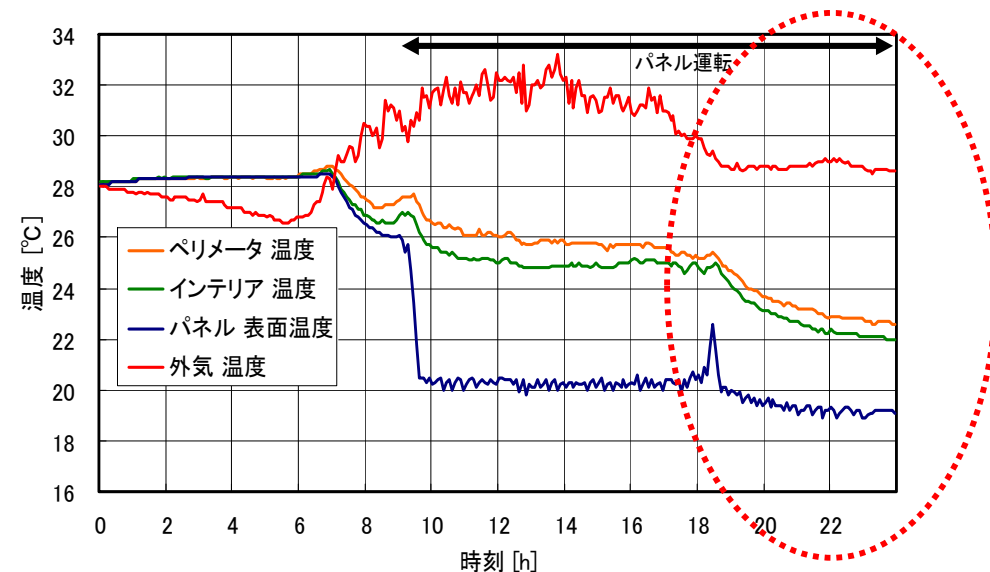
2005年竣工 ササクラテクノプラザ 水冷媒天井放射空調方式の室温制御



ササクラテクノプラザ会議室

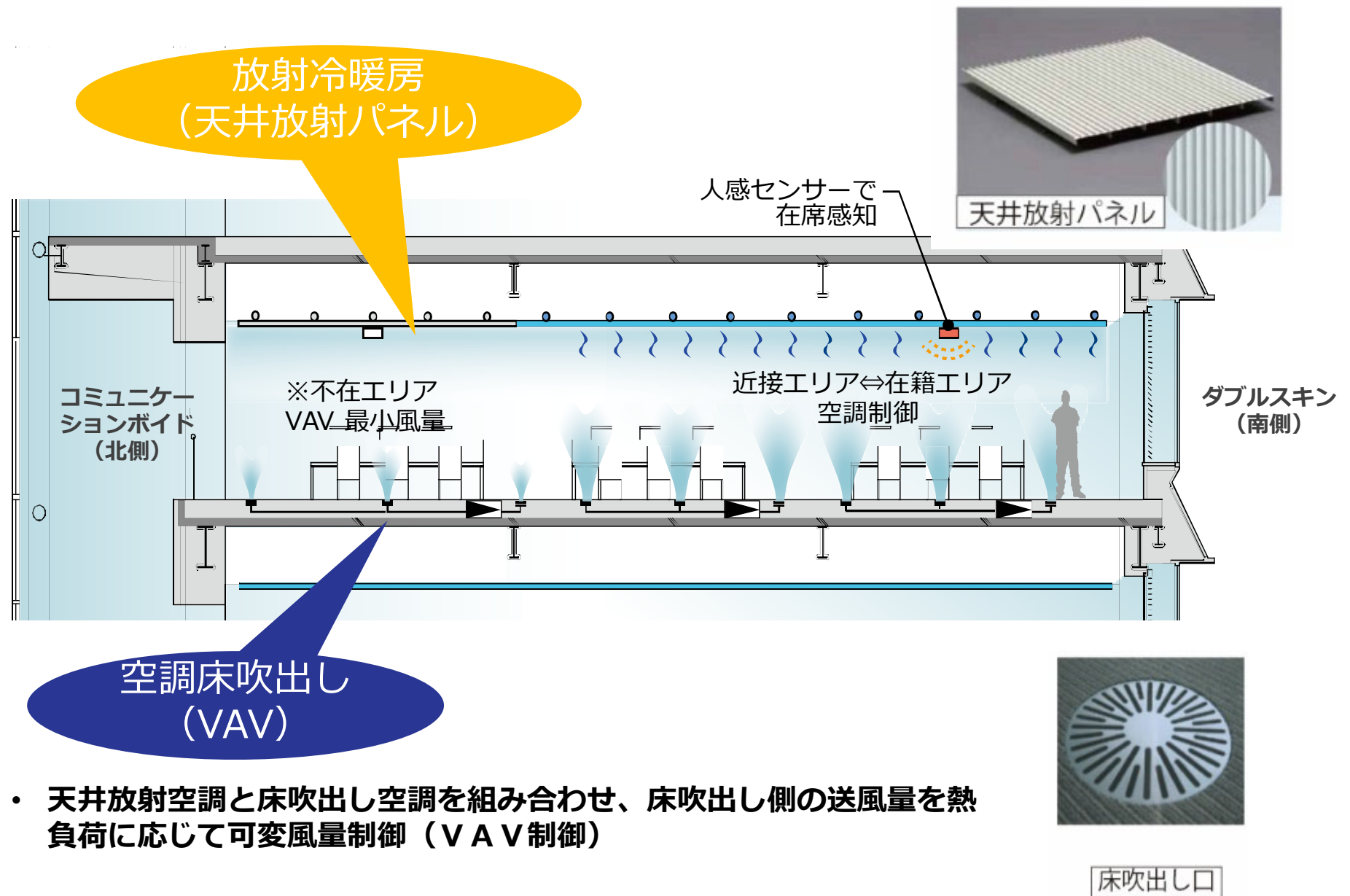


ササクラテクノプラザ会議室天井レイアウト



参照 放射空調システムの室内環境に関する研究 その1 <空気調和・衛生工学会学術講演論文集2006年9月>～事例（設計 石本建築事務所）の会議室の計測結果の報告等～

天井放射＋床吹出し空調システム概要 (システムイメージ)

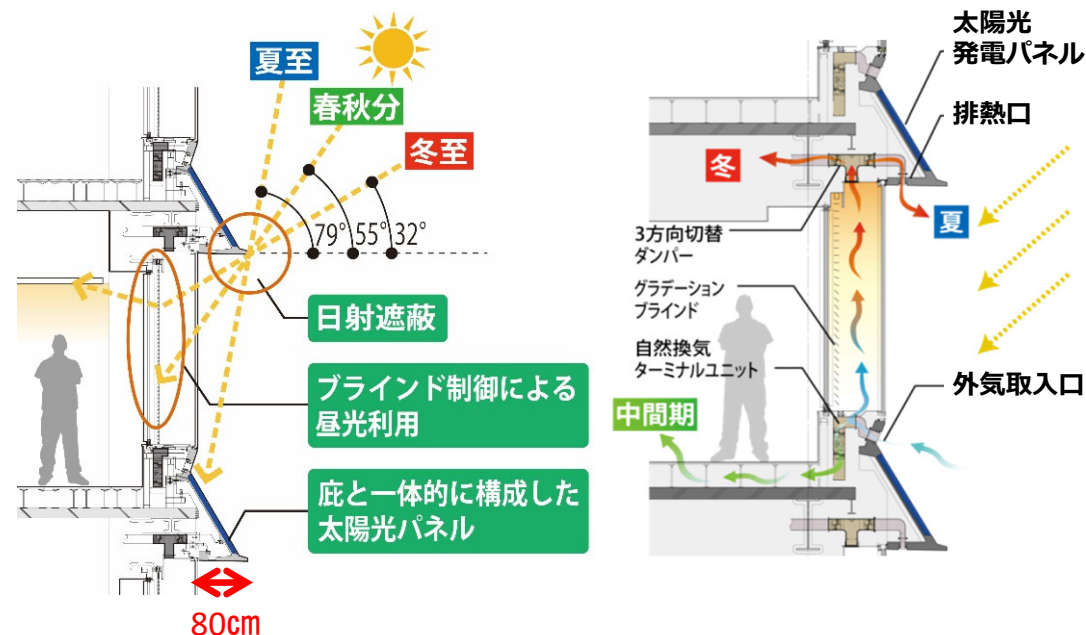


〈天井放射パネルと床吹出し空調システムイメージ (南北断面図)〉

超高層ビルにおける自然エネルギーの安定利用を可能とする外装多機能化技術 南面エコロジカルスキン：多機能ダブルスキン



高層部南面（エコロジカルスキン）



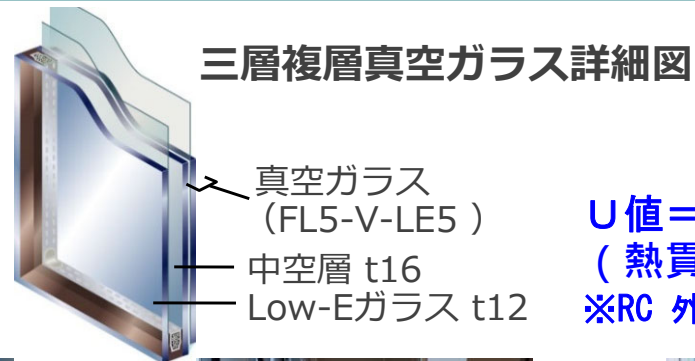
太陽光発電パネル一体型庇
による日射遮蔽

多機能ダブルスキンによる
温熱排除と回収、自然換気

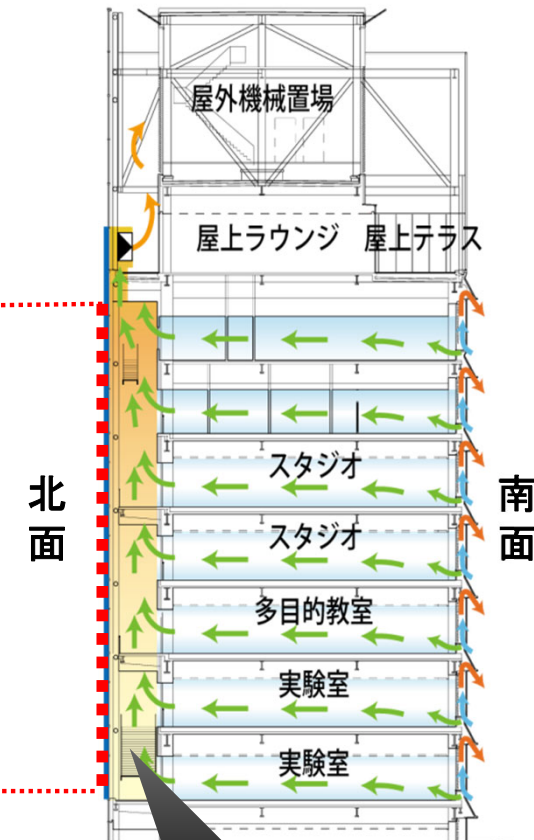
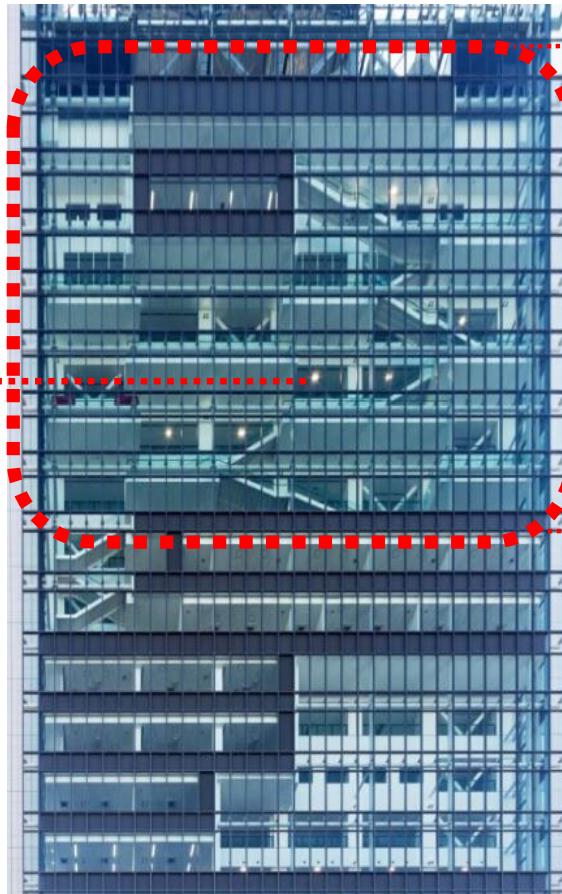
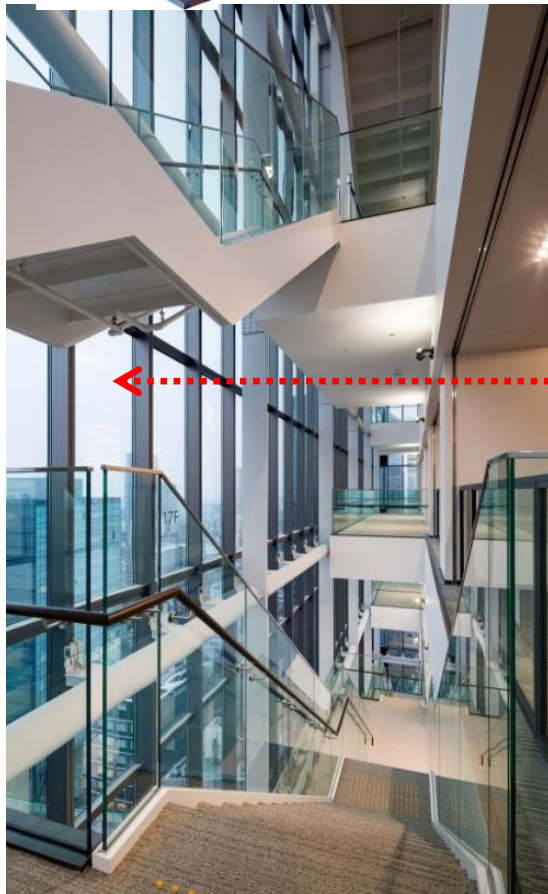
スタジオ（断面イメージ）



超高層ビルにおける自然エネルギーの安定利用を可能とする外装多機能化技術 北面エコロジカルスキン：超高断熱ガラス



U値=0.85W/m²K
(熱貫流率)
※RC 外壁+断熱材外装と同等



コミュニケーション
ボイド
※8層吹き抜け

高層階の南北断面
(自然通風イメージ)

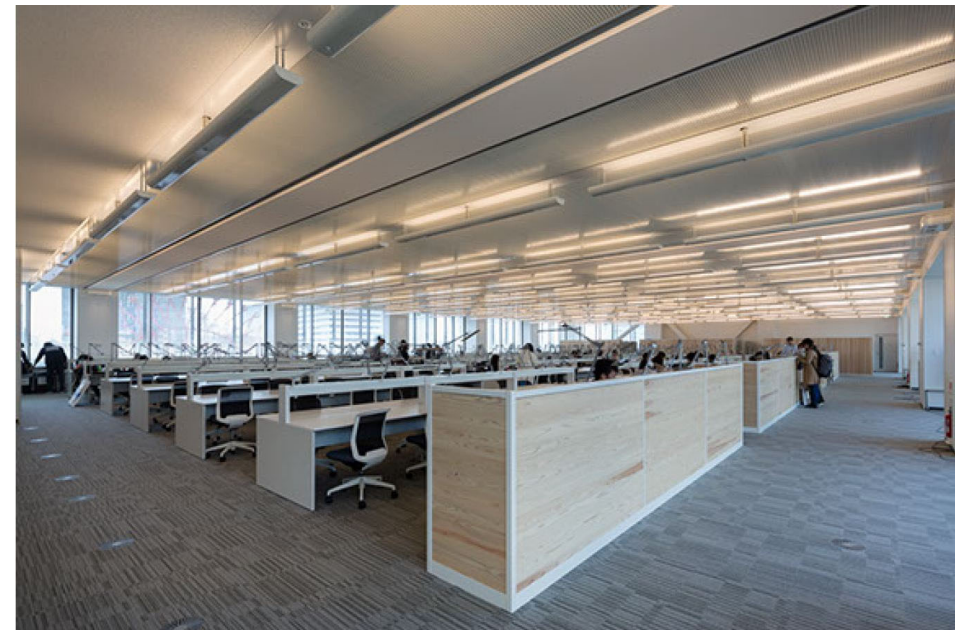
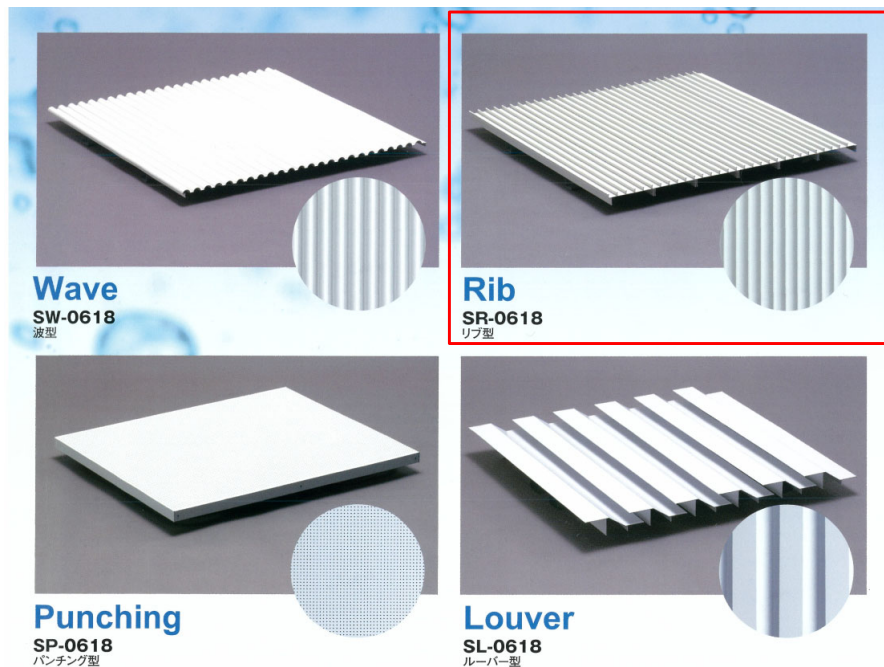
OIT梅田タワーの水冷媒放射パネル

OITにおいて採用した放射パネルの仕様：リブ型

冷房能力 77W/m^2 :平均 19°C （入り口 18°C 出口 20°C ）室温 26°C ＜ササクラ パネル定格仕様＞

暖房能力 74W/m^2 :平均 31°C （入り口 32°C 出口 30°C ）室温 22°C ＜ササクラ パネル定格仕様＞

＜＊天井放射冷暖房パネル性能試験規格 ARCH 2017 CHTRS Ver.1.1による能力表示とは異なる＞

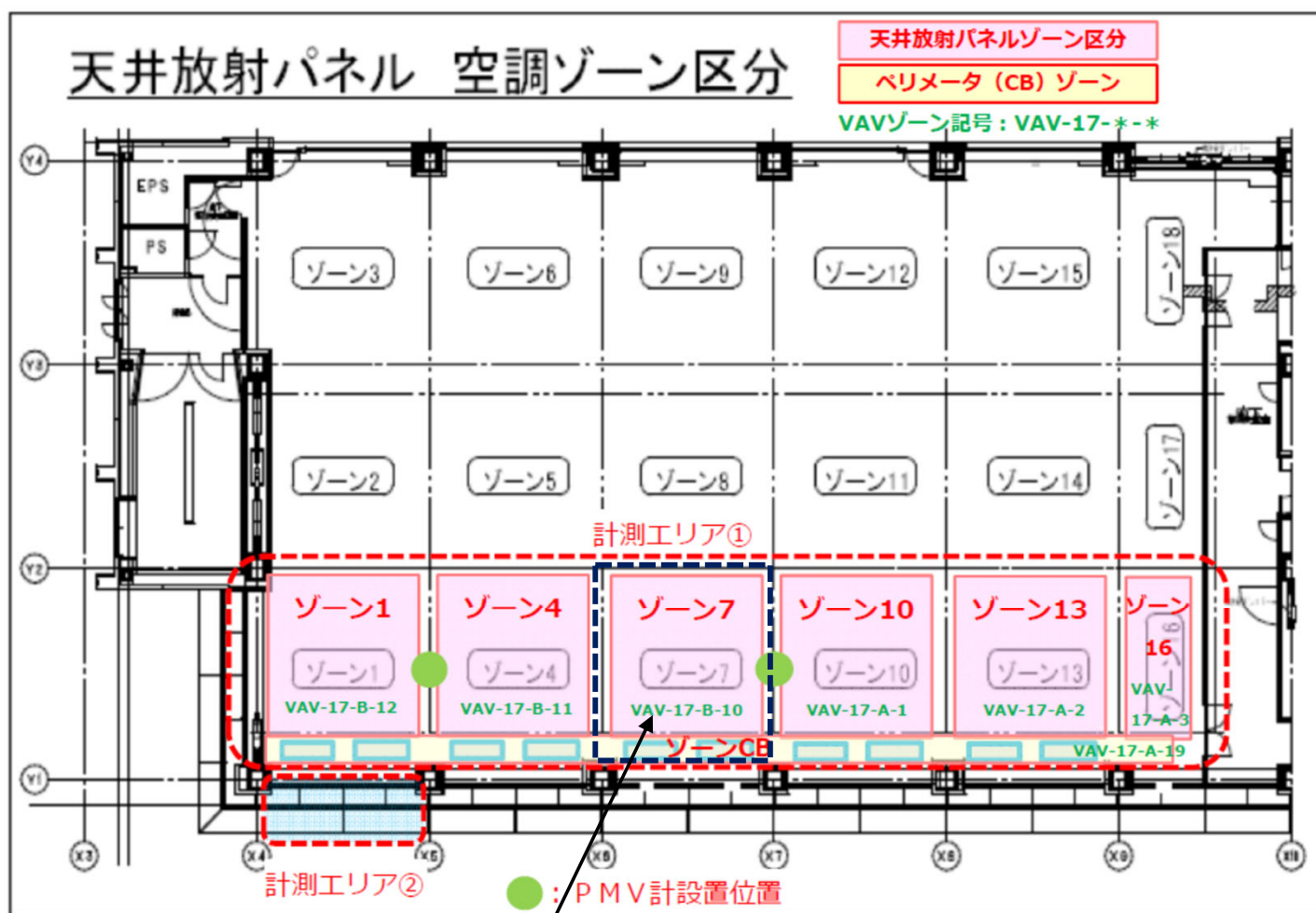


水冷媒放射パネルを有するワークスペース

天井放射＋床吹出し空調システムの計測

計測場所、CFD解析モデル空間

(計測エリア①、② 計測ゾーン詳細)



CFD解析モデル空間(1スパン)

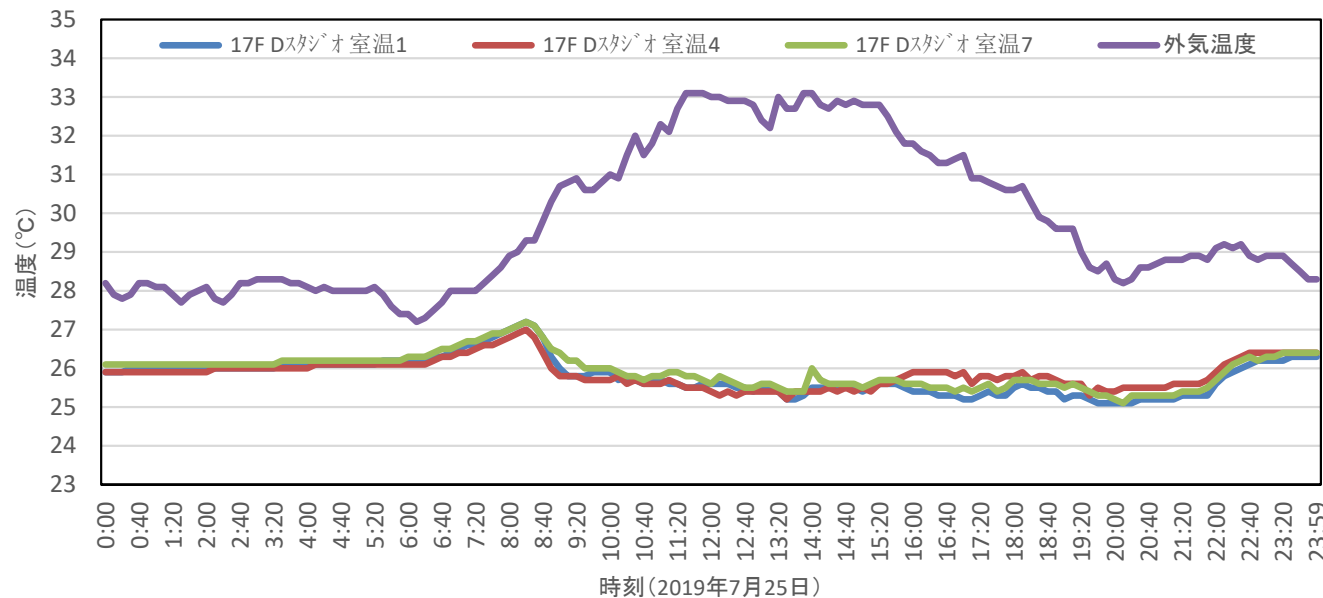
基準階学修室南側ペリメータゾーンの室温変化

<参考文献 日本建築学会学術講演梗概集（東海）40883 2021年9月>

CFD解析モデル空間とした、実建物の基準階学修室の各ゾーン別の夏季(2019年)1日の室温の分布と外気温度の計測結果を示す。

○基準階学修室の空調システムの自動制御方式

室温設定26℃、水冷媒天井放射パネルは表面温度23℃一定制御＋室温設定値±1℃にて、送水バルブON-OFF制御、床吹き出し空調換気制御はVAV制御の給気温度リセット制御＋最小風量設定35%

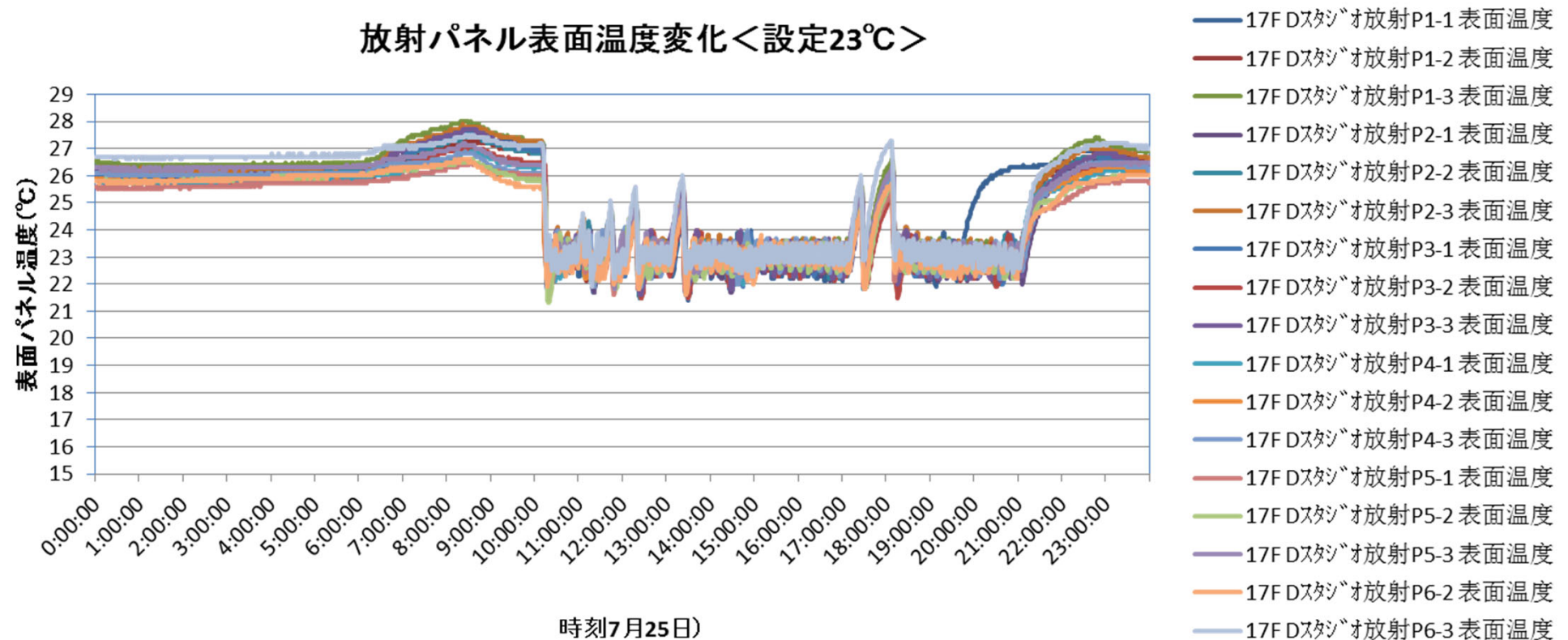


基準階学修室南側ペリメータゾーンの室温変化（ゾーン室温1,4,7）
2019年7月25日（場所：大阪中心市街地）

天井放射空調の室内環境計測

●7月25日:人感センサー動作OFF 天井放射パネル室温制御ON・OFF

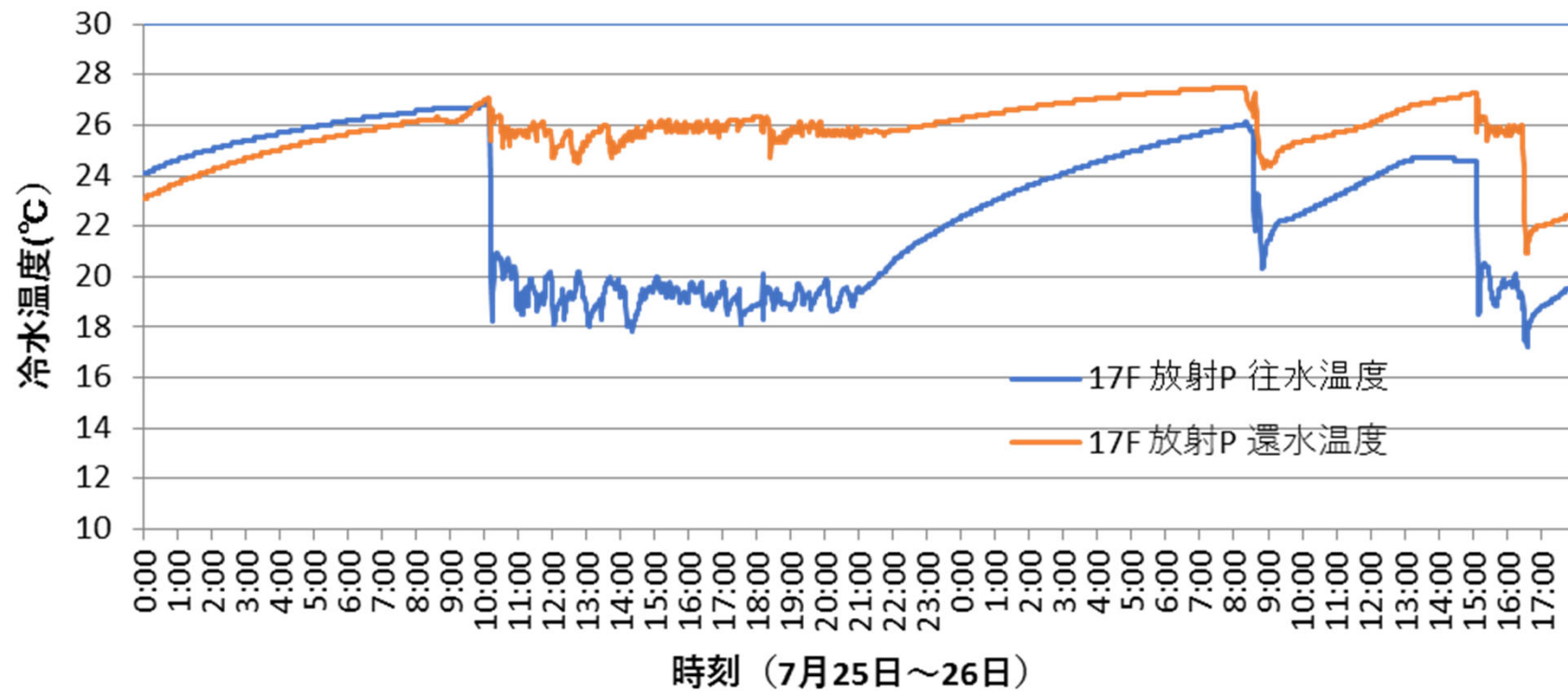
天井放射パネルゾーン別表面温度変化



天井放射空調の室内環境計測

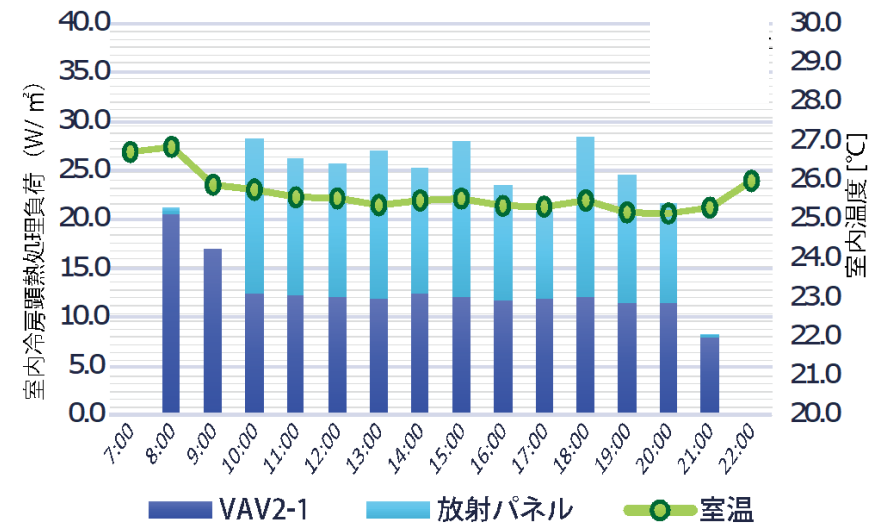
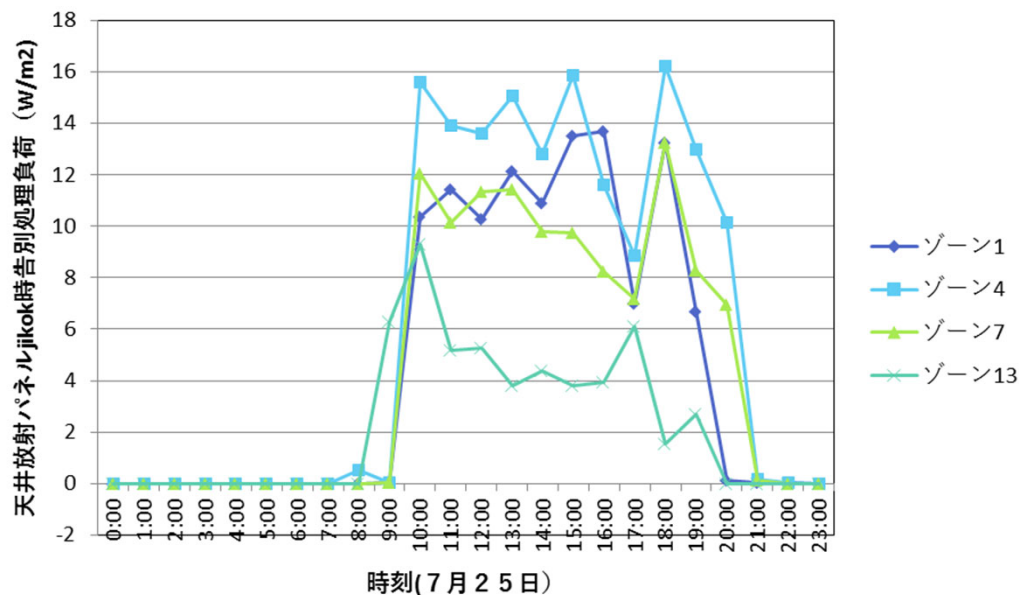
●天井放射パネル冷水送水温度変化

7月25日から26日の冷水往還温度変化



天井放射空調の室内環境計測

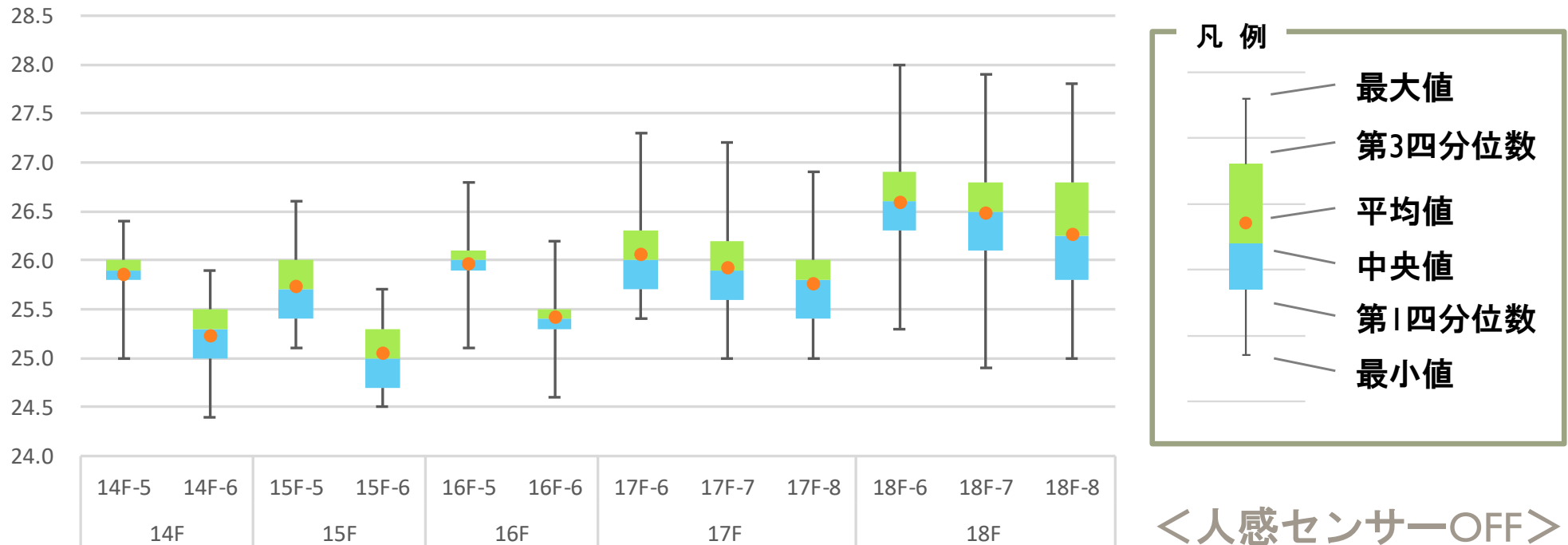
天井放射パネルゾーン別 時刻別 処理負荷熱量(人感センサーOFF)



2019年7月25日計測結果

天井放射空調の室内環境計測

7/25 北側吹抜け(コミュニケーションボイド)に面した空間の室温分布



18F	27.6	27.7	27.8
17F	26.7	27	27.2
16F	26		26.6
15F	24.8		25.6
14F	25.8		26.2

空調
ON

26	26.6	26.6
26	26.4	26.3
25.5		26
25.1		25.7
25.2		26

8 : 00

9 : 00

22℃

28℃

梅田タワーの実績から得られたフィードバック事項

1. 水冷媒天井放射空調システムと換気のための給気量を活用した床吹き出しVAV空調方式について

- ・ゾーン別制御により、ゾーン毎の負荷に追従し、終日において、室温制御されていることを確認
- ・空調終了後、翌日の空調開始時までの室温変化の変動は少なく、朝の立ち上がり時間は短時間
- ・VAV空調方式の空調処理能力に余裕を持たせたことで、放射空調で処理する熱量は定格値の部分負荷処理熱量で推移した。

2. 窓際の日射負荷遮蔽するとともに、外皮負荷の徹底削減について

- ・南面（ダブルスキン）および北面（高断熱ガラス）のパッシブな外皮負荷抑制により、南ペリメータゾーンおよび北側吹き抜けに面する居住域の環境維持ができています。

3. 天井放射パネル各ゾーン別の流量制御を行い天井放射パネルのゾーン別の表面温度一定制御＋室温による流量制御をON-OFFとしてことについて

- ・室内設定温度およびゾーン負荷に応じ、放射パネルの通水および表面温度制御が機能して、室温を制御していることを確認した。

第2章 設計段階でのCFD解析の活用

水冷媒天井放射空調システムの普及のためには、設計時のモックアップ等による試験室でのテストによるのではなく、空間デザインを考慮したCFD解析によるシミュレーションを行わなければならない。

○ CFD解析の課題

- 1) 室温と内装の表面温度は等しいと仮定してきたこれまでの熱貫流率による外皮負荷等の空調負荷計算法とは異なり、放射による計算法が必要となる。
- 2) 空調換気との併用となるので放射・対流による連成解析が必要となる。

参考文献

- 1) 天井放射空調システムを活用した設計とその運用についての考察（第2報）床吹き出し空調との併用方式のCFD解析によるシミュレーション結果 木村博則 2020年空気調和衛生工学会 C-61
- 2) 水冷媒天井放射空調システムの設計へのCFD活用に向けた検討とその考察 一床吹き出し空調換気方式との併用の事例を解析モデルとしたシミュレーション結果一 木村博則 2021年9月日本建築学会学術講梗概集 40883

CFD解析の設計への効率的活用

冷房時を対象とし、水冷媒天井放射空調システムと対流方式の空調換気システムの併用方式について、3次元空間について、2次元空間に近似させてCFD解析を行い、事前の実験に頼らないで、効率よく実際の状況を予測する。

◇CFD解析の入力において配慮する事項

1. 演算時間の短縮のため、3次元空間を2次元モデルに近似させる。
2. 発熱体は温度規定（放射パネル、人体）によるものと、発熱量規定（照明、太陽熱）によるものに分ける。
3. 壁体の熱伝導、内装材、人体等の、熱容量を考慮する。
4. 空間にある全ての物質、人体の放射率を設定する。

◇本CFD解析の出力において評価する事項

- ・ 空間対象領域内の室温・放射温度・風速の各分布及び各部材の処理熱量

◇本CFD解析の条件設定

- ・ 計算対象の実建物の定常状態の実運用時の設定値、外気温度、日射量等の気象条件によります。

放射空調の理論式

■放射を考慮した空間の熱伝導について

これまでの空調負荷計算においては、外皮の室内側は、対流熱伝達率、放射熱伝達率からなる総合熱伝達率を用い、以下の式にて熱流 ϕ の空調顕熱負荷を算定している。

$$\phi = \phi_c + \phi_r \quad \text{---- (1)}$$

ここに、 ϕ_c ：熱流（対流成分）、 ϕ_r ：熱流（放射成分）

$$\phi = \alpha_c (\theta_s - \theta_a) + \alpha_r (\theta_1 - \theta_2) \varphi \quad \text{---- (2)}$$

ここに、 θ_s ：外皮内壁表面温度（対流）、 θ_1 ：外皮内壁表面温度（放射）、 θ_a ：室温、 θ_2 ：室内壁表面温度、 φ ：形態係数、 α_c ：対流熱伝達率、 α_r ：放射熱伝達率

ここにおいて、壁をとりまくすべての物体は空気温と等しいと仮定しており、 $\theta_2 = \theta_a$ 、 $\theta_s = \theta_1$ とすると、

$$\phi = \alpha (\theta_s - \theta_a) \quad \text{---- (3)}$$

ここに、総合熱伝達率 $\alpha = \alpha_c + \alpha_r$

式（3）は、例えば、物質1と物質2の間の放射の熱流は、温度係数を1.0と仮定する考え方により、1次式にて略算している。

物体1と物体2の間での放射熱伝達率 α_r は、

$$\begin{aligned} \alpha_r &= \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma [(T_1^3 + T_1^2 T_2^2 + T_1 T_2^3)] \\ &= \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma \times 10^8 \quad \text{---- (4)} \end{aligned}$$

ここに、 $[(T_1^3 + T_1^2 T_2^2 + T_1 T_2^3) / 10^8] \div 1.0$

ε_1 、 ε_2 ：物体1、2の各吸収率（放射率）

σ ：Stefan-Boltzmann 定数 $5.6678 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$

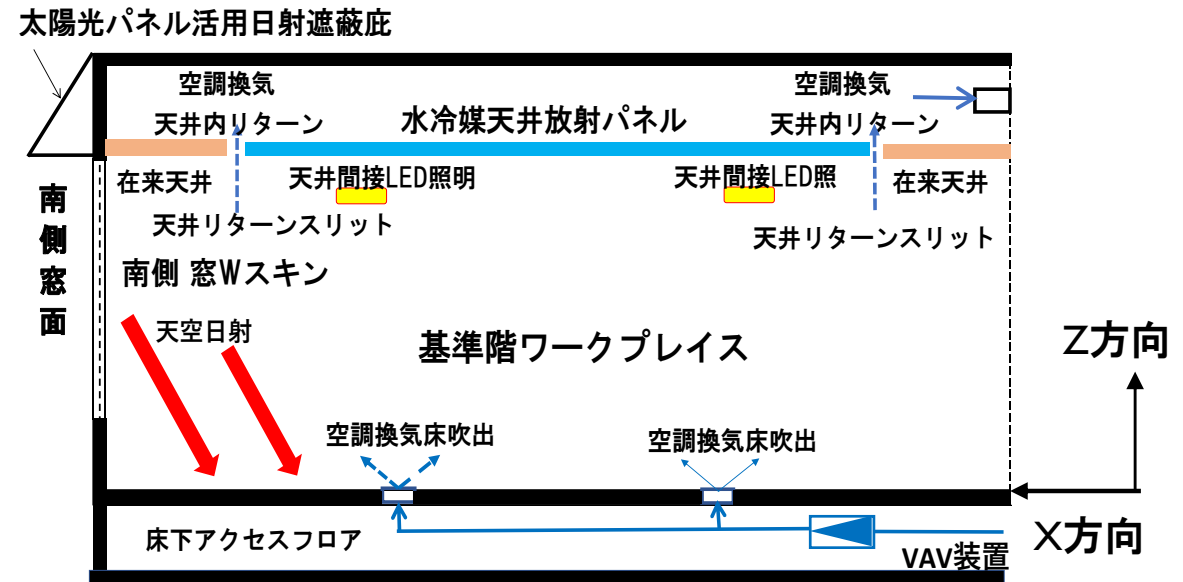
本CFD解析では、外皮の熱伝導率を室内側の熱伝達率を用いないで補正した熱伝導率を用い、空間を構成する各部材の表面の放射率を与えて、ステファンボルツマンの法則を用いて、放射による熱量を演算している。

CFD解析対象の空間の形状、熱負荷、設備等

◇CFD解析対象の空間

基準階ワークプレイス（学修室）
のCFD解析対象空間の断面、
平面イメージ図を示す。

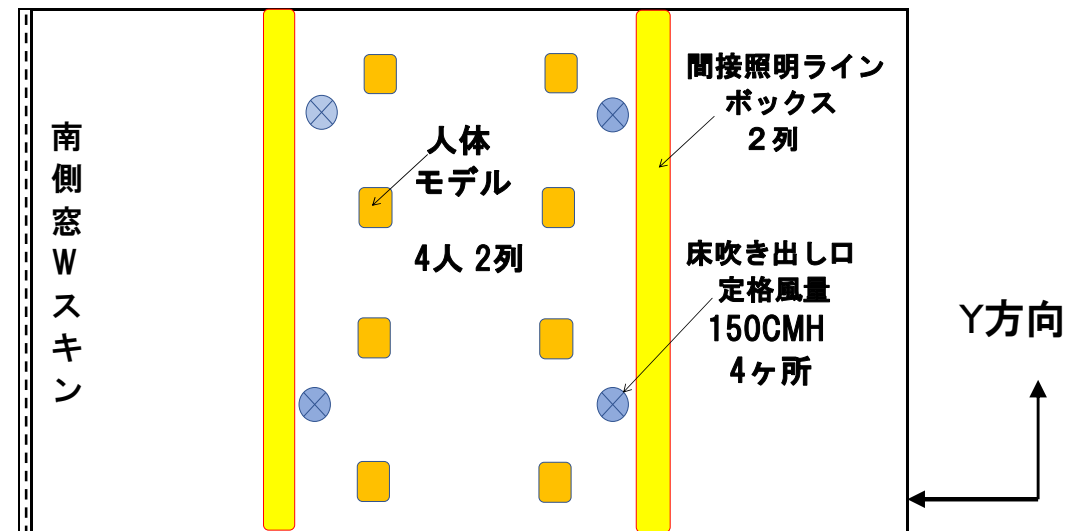
X方向:7.0m（窓部からの奥行）
Y方向:6.0m（窓を含む1スパン）
Z方向:5.0m(階高) ,3.3m(天井高さ)



◇解析対象の空間の熱負荷、設備等

- ・ 水冷媒天井放射パネル（表面温度規定）
- ・ 外壁熱負荷（外皮表面相当温度規定）
- ・ 日射負荷（天空日射）
 - * 外底、Wスキンにて直達日射は100%遮蔽
- ・ 人体発熱（人の平均表面温度規定）
- ・ 照明発熱（熱量規定）
 - * 天井下吊下照明器具から天井面への間接光
- ・ 床吹き出し給気温度（VAV給気温度規定）
- ・ 床吹き出し給気風量（VAV最小風量設定）
- ・ 天井内還気風量（給気風量とエアバランス）

天井放射パネルを有する2次元モデル空間の断面



窓際1スパンのモデル空間の平面と室内条件

CFD解析のモデル空間

CFD解析対象の3次元モデル空間を示す。窓からの奥行と高さ方向の2次元モデル (X-Z)空間となるように人体と床吹き出し口の入力形状の簡略化を行っている。

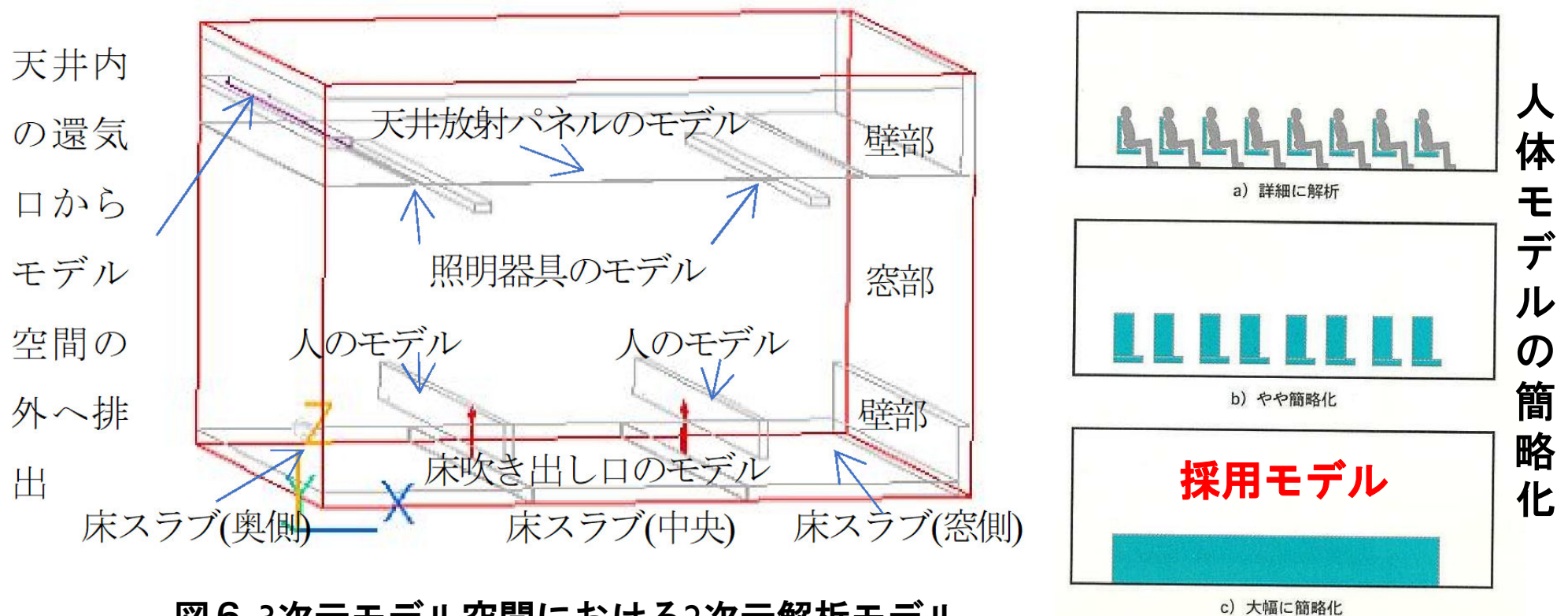


図6 3次元モデル空間における2次元解析モデル

CFDガイドブック空気調和・衛生工学会編

2次元モデル化のため、人体、空調換気吹き出し口、照明器具の形状について、その性能は同じとして、窓幅方向Y方向で切断した断面形状については同じとなるようにモデル化した。

CFD解析の概要

放射と対流の連成解析のできるCFD解析ソフトにて、解析対象モデルと同じ外部条件、内部条件を与えて、定常状態の室温等を予測する。

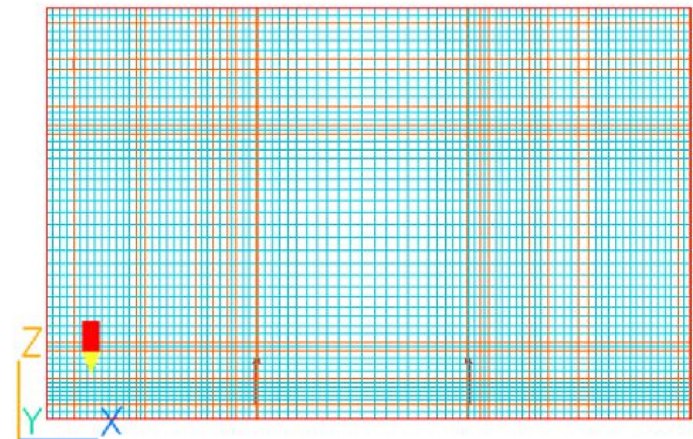
1. CFD解析ソフト

- ・ PHOENICS 2019Ver1.1 放射伝熱解析はIMMERSOLモデルを採用
乱流モデル：標準 $k-\varepsilon$ モデル、空気密度は一定、非圧縮性流体、温度差浮力はブジネスク近似、外部表面温度（外壁、窓）、内壁近傍の熱伝達には対数測を用いる、天井放射パネル及び人体は表面温度規定、窓際床部へは日射集熱（直達日射は遮蔽されており天空光のみ）及び照明発熱は発熱量を規定、床吹き出しの給気量と給気温度を規定
- ・ 解析手法：放射伝熱モデルは放射温度を T_3 として解くIMMERSOLモデルを用い、流体温度 T_{EM1} と放射温度 T_3 による各エネルギー方程式を有限体積法により離散化し、SIMPLEST法による繰り返し計算（ここでは上限40000回の設定）を行い収束判定を行った。
メッシュ：3次元空間を2次元空間モデル化X方向93×Z方向52（一部調整あり）

2. 天井放射空調方式を考慮した熱量の演算について

天井放射空調方式では、これまでの空調負荷計算において仮定してきた室温と周壁（天井含む）の温度は等しい、とはみなせず、放射を考慮した熱量の演算は、空間全体を計算領域としたCFD解析に頼らざるをえない。

本ソフトについて、ご質問等のある方は以下にお願いします。
問い合わせ先メール(CHAN-JAPAN 技術営業部)
info@phoenics.co.jp
WEB: <http://www.phoenics.co.jp/>



メッシュ分割（X方向×Z方向）

CFD解析の入力についてー1

1. 空気の物性値

表1 空気の物性値

項目	数値	単位
温度	34	°C
気圧	1	atm
密度	1.15	kg/m ³
動粘性係数	1.15E-05	m ² /s
比熱	1,020	J/kg・K
熱伝導率	0.0268	W/m ² ・K
体積膨張率	3.41E-03	1/K

*注記：本解析では屋外の空間は計算領域に含めていない。

2. 固体の物性値

表2 固体の物性値

項目	密度	比熱	熱伝導率	放射率	厚さ
単位	kg/m ³	J/kg・K	W/m・K	無次元	m
外壁	400	200	0.183	0.9	0.145
窓	2,500	800	0.0315	0.9	0.015
床(奥側)	2,000	879	4.737	0.9	0.16
床(中央)	2,000	879	4.737	0.9	0.16
床(窓際)	2,000	879	4.737	0.9	0.16
天井放射パネル	2,700	900	236	0.95	
システム天井	700	3	0.2	0.9	
人	1,530	1,380	0.0556	0.9	
照明カバー(アルミ)	標準値	標準値	標準値	0.4	

*注記：各個体の放射率の数値は、空気調和衛生工学会便覧を参考とした。

CFD解析の入力についてー2

3. 発熱体の規定

表3 発熱体の規定

項目	規定種別	物質情報
天井放射パネル	温度規定: 23℃	巾6m×長さ4.8m
人体(8名)	温度規定: 32℃	表面面積 1.6m ² ×8名
照明(間接光)	熱量規定: 147W×2	巾0.2m×長さ6m
床(太陽熱集熱)	熱量規定: 206W×2	床(窓際)、床(中央)
外皮(屋外上側)	温度規定: 34℃	外皮(上部) 巾6m×高さ1.5m
外皮(屋外下側)	温度規定: 34℃	外皮(下部) 巾6m×高さ0.6m
窓面(屋外側)	温度規定: 34℃	窓面 巾6m×高さ2.7m

*補足説明

- ・4人分の表面積に等しい直方体(長さ6m×高さ0.4m×幅0.1m)を2列に配置、その表面温度を32℃一定と仮定して温度規定。
- ・太陽熱集熱(天空光)は床(窓際)、床(中央)へ窓面積相当の透過熱量が床に集熱されたと想定し、発熱量を規定。
- ・屋外壁、窓部は庇にて直達日射は遮蔽されており、外気温度に等しいと想定した。
- ・照明器具は上面(間接光)へ放熱されていると想定し発熱量を規定。

4. 給気と還気の規定

表4 制気口の仕様等

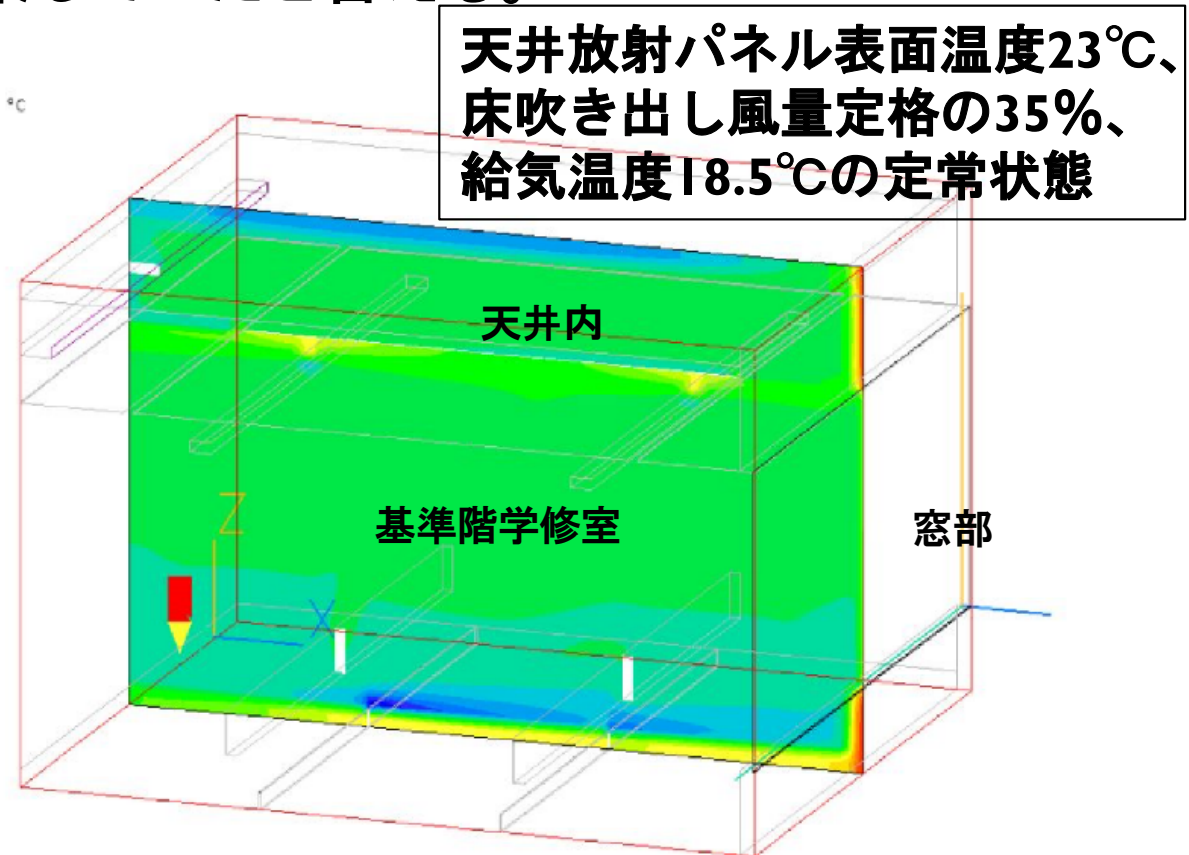
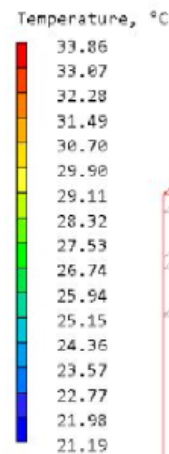
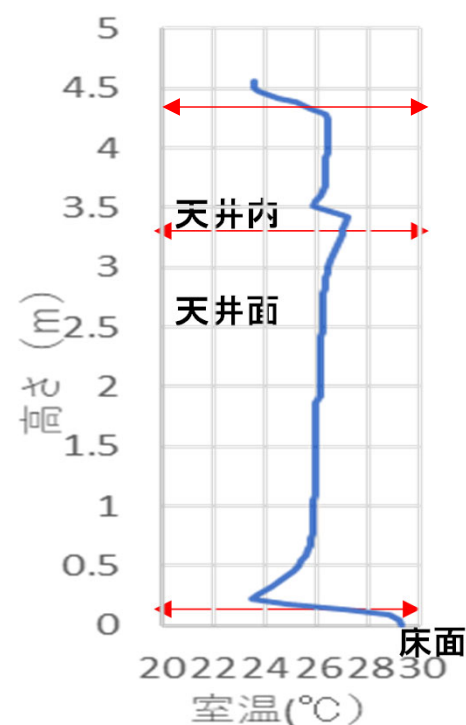
項目	形状	風量
床吹出口	巾0.2m×長さ6mが2列	定格300CMH×2
天井内還気口	巾0.1m×長さ6m	体積流量
天井リターンスリット	巾0.1m×長さ6mが2列	体積流量

*補足説明

- ・床吹出口: ライン型とし、長さ6m×幅0.02mの床開口部とし、斜角度30度で給気、本CFD解析では、定格風量の最小風量設定値35%とした。
- ・天井開口のスリットは長さ6m×幅0.02mを2列にて配置して天井内リターンチャンバーとする
- ・天井内還気口: 給気圧にて、天井内チャンバーから給気風量を排風
- ・給気温度18.5℃(VAV給気温度一定リセット制御)

CFD解析の結果ー1

- ・ CFD解析結果は、流体の温度による熱量（対流）と放射温度による熱量（放射）バランスはともに収束しており、その連結した熱量バランスの誤差は約0.3%で、十分収束していたと言える。
- ・ 演算時間40分27秒。



天井放射パネル表面温度23°C、
床吹き出し風量定格の35%、
給気温度18.5°Cの定常状態

上下の室温分布のCFD解析結果
モデル空間の中央部の断面方向の室温の分布
(木) 床～天井～天井内上部)

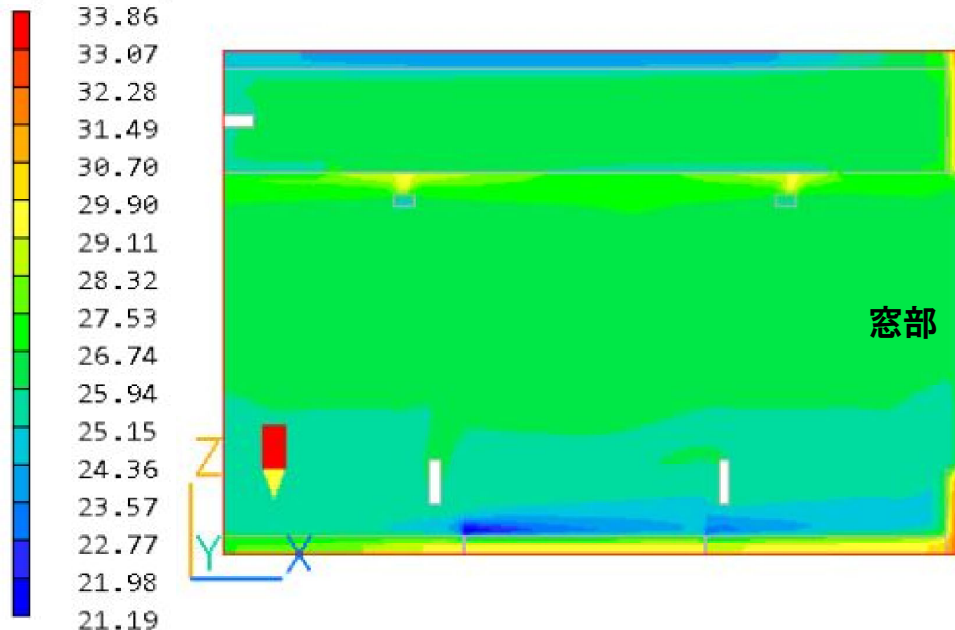
3次元空間における2次元室温分布のCFD解析結果

○考察：空間の室温分布は床面廻りを除き十分均質であり、空調領域の平均室温約26.1°C、天井内平均温度26.0°Cであった。

CFD解析の結果－2

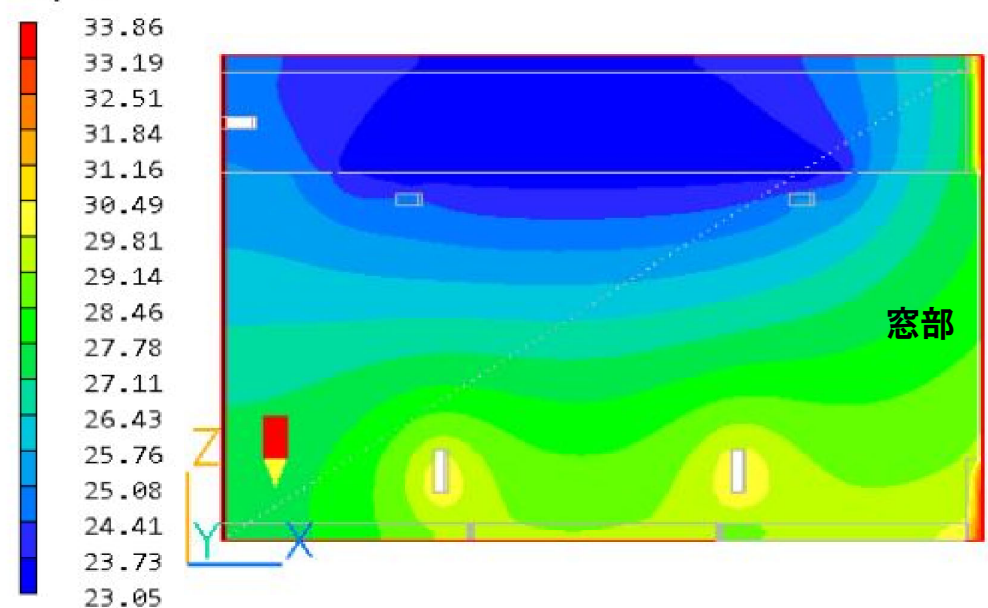
床吹き出し風量はVAV装置の最小風量設定35%、人員8名の場合のCFD解析結果の室温分布、放射温度分布の解析結果を示す。

Temperature, °C



室温分布 (°C) <室温平均26.1°C>
～床吹き出しは定格のVAV装置の給気量の最小風量設定35%である。室温は床吹き出しの影響のあるエリアを除き、均質性のあることが示されている～

T3, °C

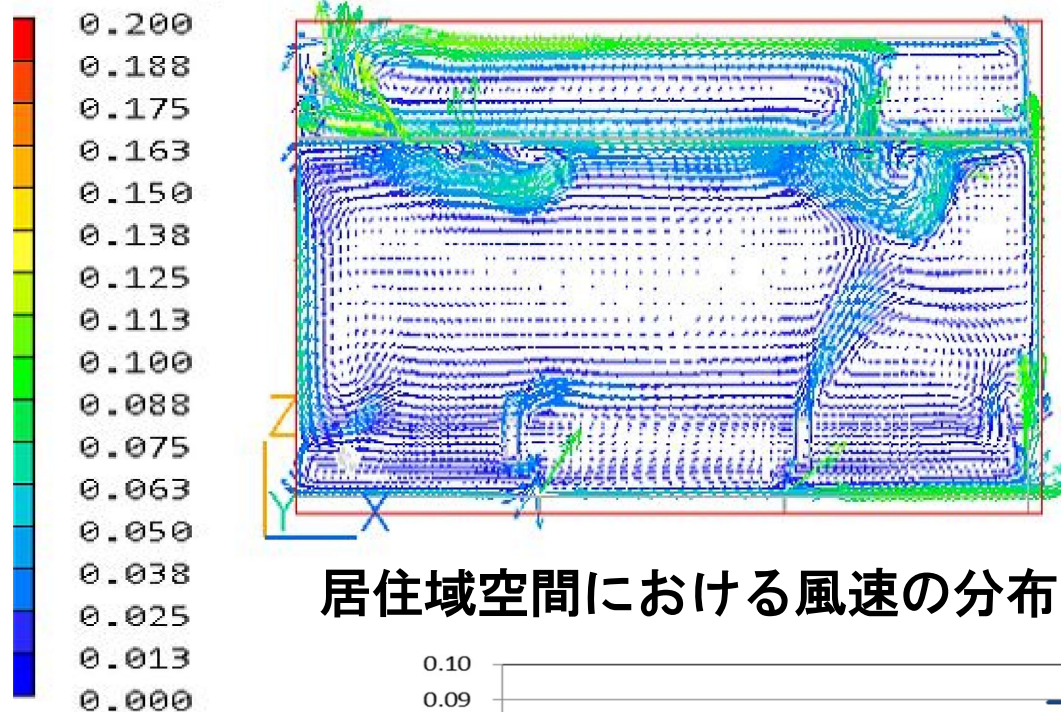


放射温度分布 (°C)
～CFD解析において、人体の表面温度は32°C、天井放射パネルは23°C一定となるように、熱量の授受のバランスが調整されている。窓際ゾーンにおける、外皮、人体、床から放射による影響、天井放射パネルからの放射による影響のあることが示されている～

CFD解析の結果－3

参考文献：空気調和衛生工学会学術講演論文集 C-61 (2020.9)

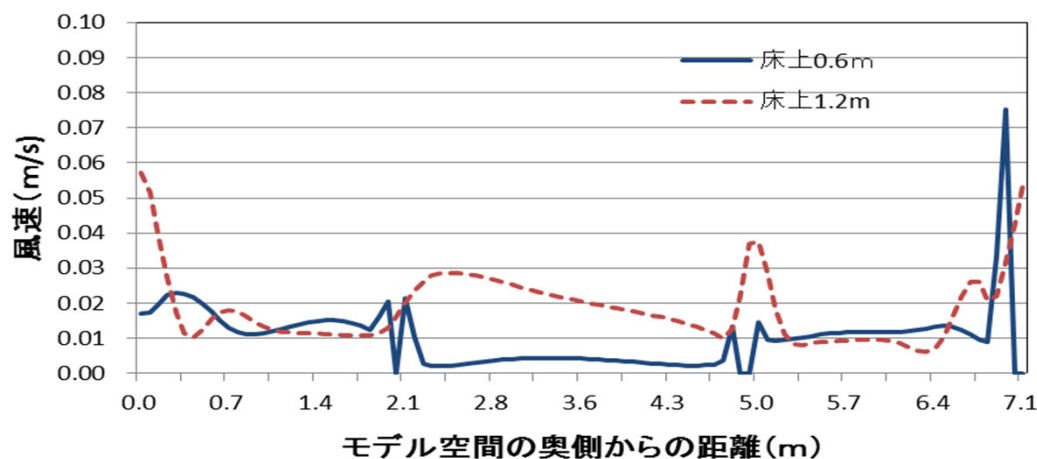
CFD解析結果の風速の分布を示す。



居住域空間における風速の分布

* 解析結果の考察

窓廻り、床き吹き出し、人からの発熱による空気の上昇がみられる。天井下の照明器具発熱廻りで気流が旋回し、天井下の空間内においては、均質な室温分布となっている。



居住域空間における風速の分布

* 解析結果の考察

居住域、足元全体において、風速は0.2m/s以下であり、人はドラフトを感じないことが確認できる。

第2章 まとめ

1. CFD解析を3次元空間の2次元モデル化を行うことで、演算時数約8時間から約40分へと短時間で設計に活用できることを確認した。
2. 水冷媒天井放射空調システムのCFD解析において、放射パネルの表面温度一定値として、空間の室温を予測できることを確認した。
3. CFD解析結果の空間を構成する部材、設備機能別の熱量の計算結果から空間の空調負荷処理顕熱量について分析が行えることを確認した。

第3章 上田市庁舎の事例より

水冷媒天井放射空調システム 上田市庁舎の事例

新たなデザインニーズが計画に加わる

建築計画：高さ制限から、階高の制限：3.9m
意匠計画」から、放射パネルの天井面は傾斜したデザイン

照明計画：放射パネル面は間接照明のリフレクターの機能を有する

①歴史ある街並みの特徴である「門、塀、庇、格子」と言った要素を取り入れた外皮のパッシブデザイン

夏季

歴史ある町並みにおいて、東西面の窓面においては夏季には長い庇と格子の組み合わせにて夏季の庇による日射遮蔽(基準階東西窓において冷房代表日1日の冷房負荷を約40%削減)

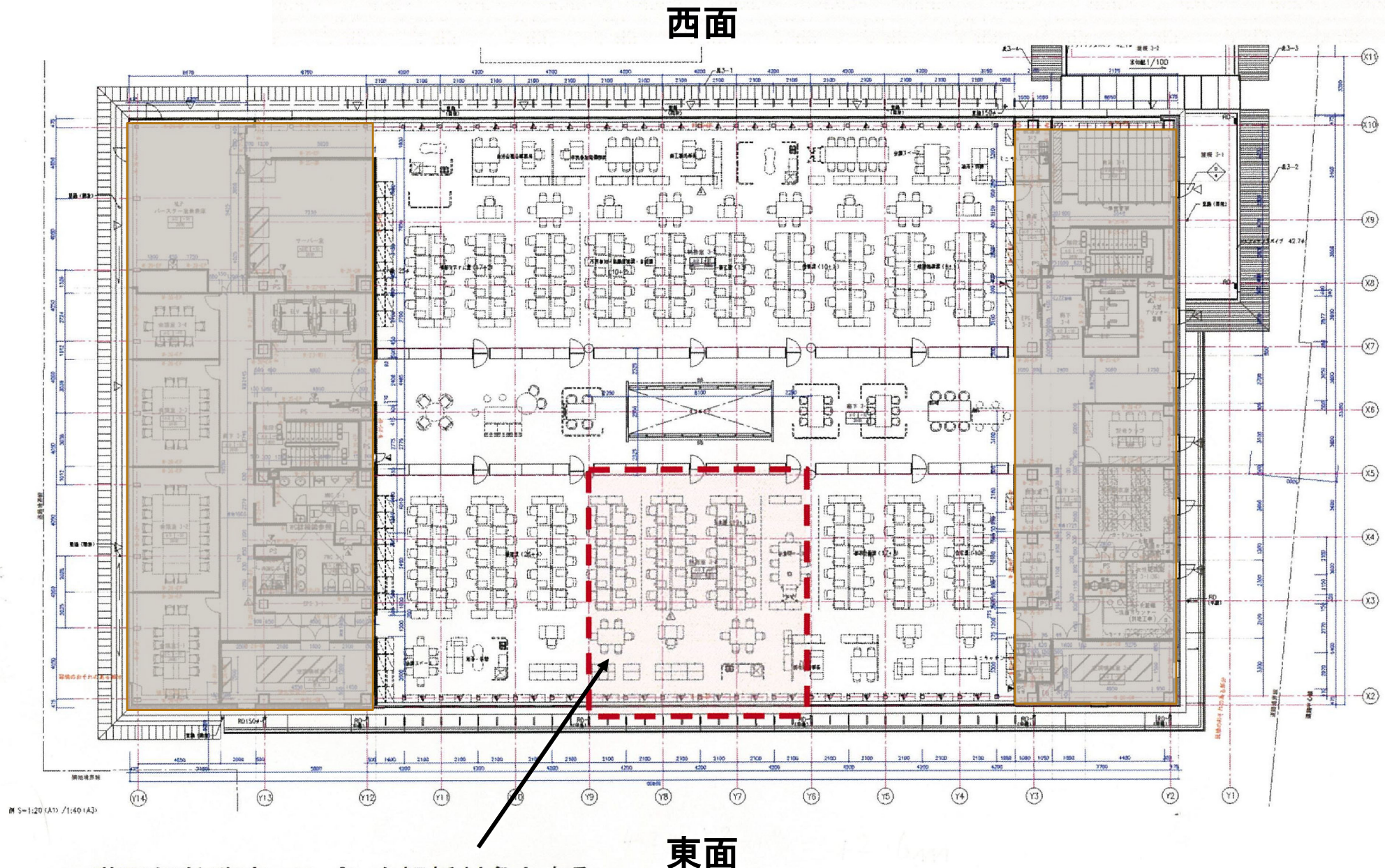
冬季

晴天率の高い気象から、基準階の東西に面する窓面からの日射取得を行い、窓の高断熱化によって、厳しい上田市の冬季においても日射集熱で暖房負荷が負担できるように計画



ポイント：景観に配慮した庇長さと格子の組み合わせのパッシブデザインを計画

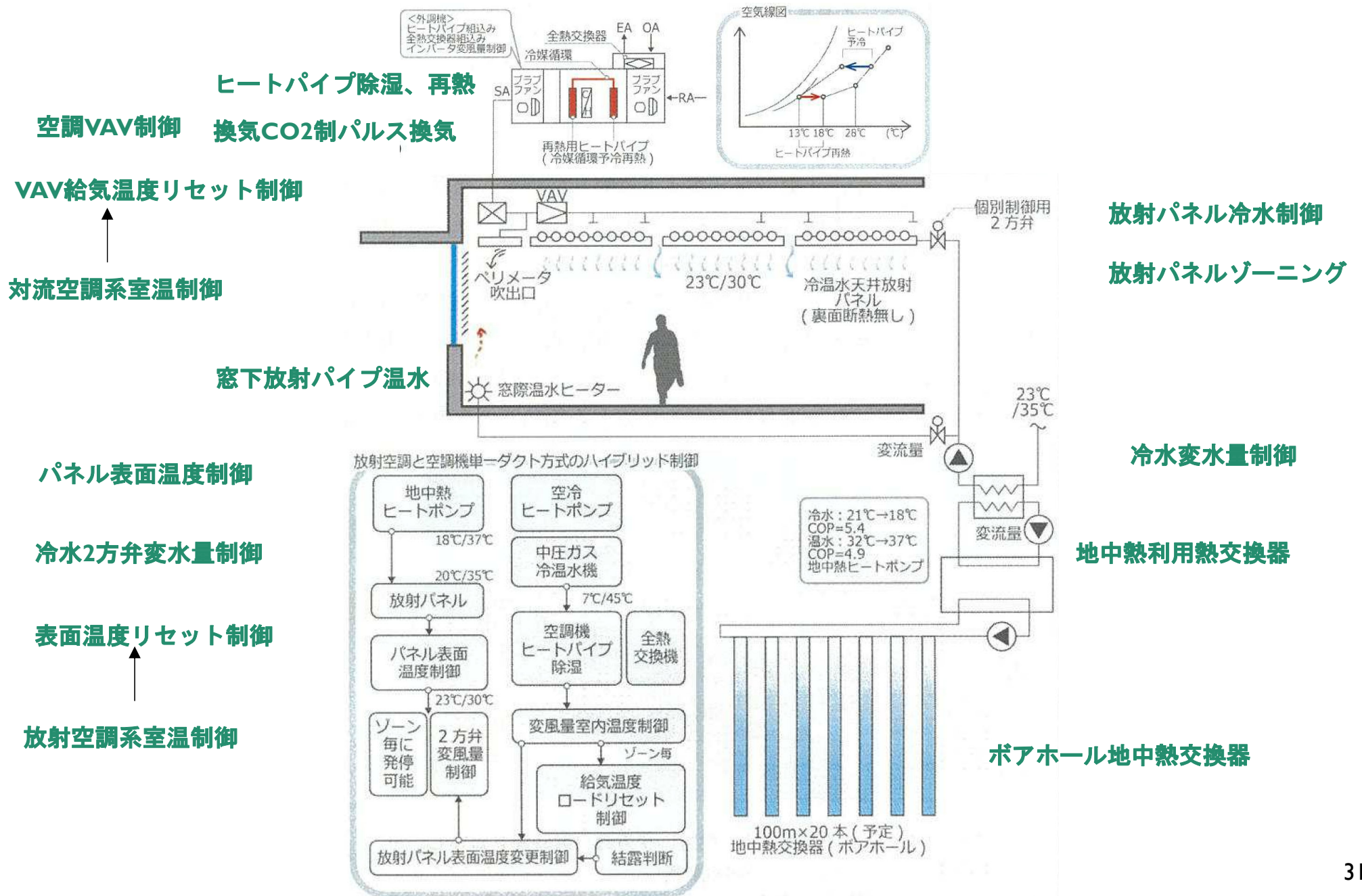
基準階水冷媒天井放射空調システムCFD解析対象エリア



⇒ 3階西側執務室 3スパンを解析対象とする

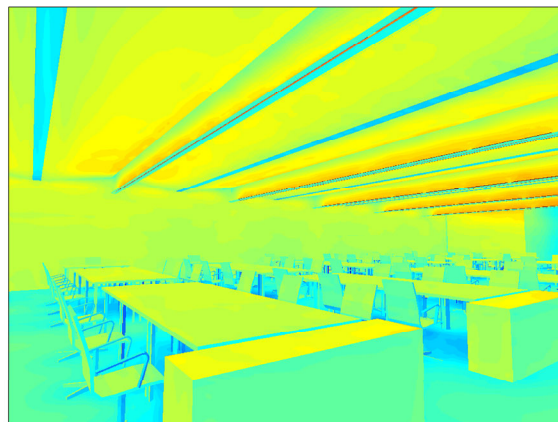
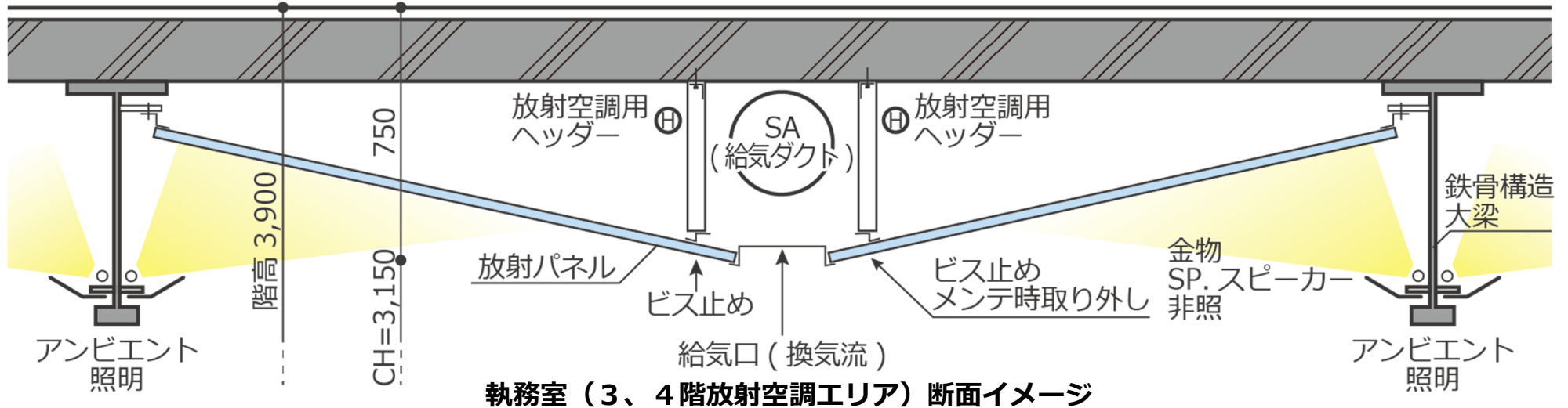
執務室天井は各スパンの空間モジュール単位で傾斜している

②限られた階高においての統合環境装置 (水冷媒天井放射空調+タスク・アンビエント照明)

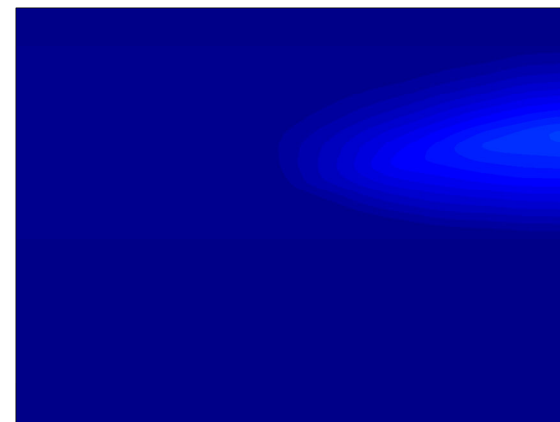
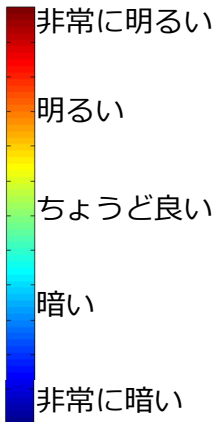


②限られた階高においての統合環境装置 (水冷媒天井放射空調+タスク・アンビエント照明)

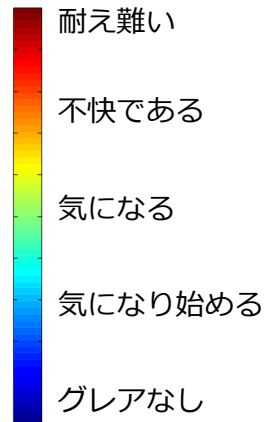
- ・限られた階高なか、天井高さを確保しつつ質の高い省エネ空調、換気が可能
天井放射パネル面は間接照明のリフレクターとして利用されている



明るさ判定シミュレーション画像



グレア判定シミュレーション画像



②限られた階高においての統合環境装置 (水冷媒天井放射空調＋タスク・アンビエント照明)

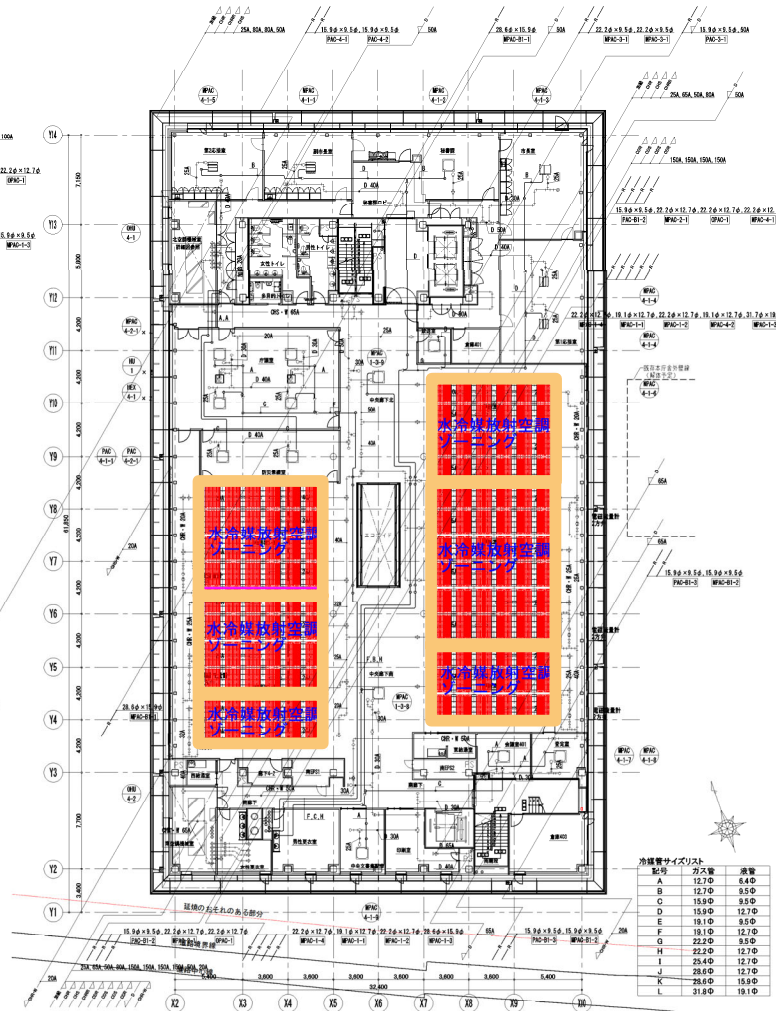


②限られた階高においての統合環境装置 (水冷媒天井放射空調+タスク・アンビエント照明)

水冷媒天井放射空調システムのゾーニング



3階



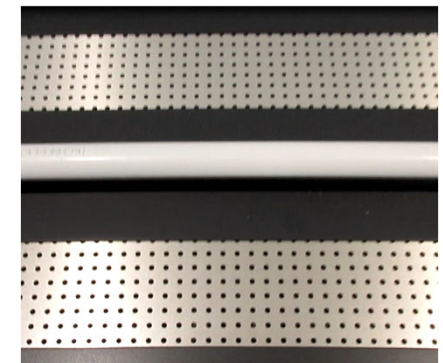
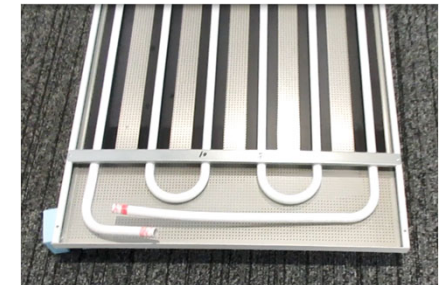
4階

◆水冷媒天井放射パネル空調ゾーニング (3階)

東側系統：3ゾーニング

西側系統：3ゾーニング

冷温水量をゾーンごとに
パネルチューブヘニ方弁
で比例制御し、パネル表
面温度を制御して室温を
コントロール。



冷媒管サイズリスト

配管	ガス管	液管
A	12.7φ	8.4φ
B	12.7φ	9.5φ
C	15.9φ	9.5φ
D	15.9φ	12.7φ
E	19.1φ	9.5φ
F	19.1φ	12.7φ
G	22.2φ	9.5φ
H	22.2φ	12.7φ
I	25.4φ	12.7φ
J	25.4φ	15.9φ
K	25.4φ	19.1φ
L	31.8φ	19.1φ

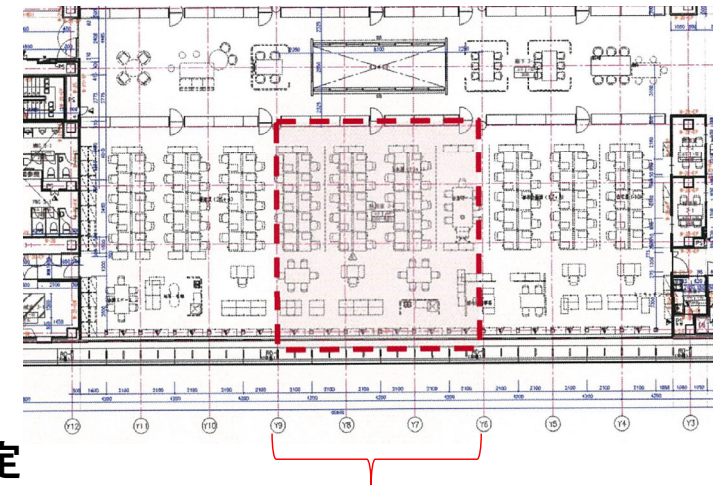
③3次元実空間のCFD解析の概要

水冷媒天井放射空調方式 3次元空間へのCFD解析への応用展開の解析結果

○対象：窓際3スパンを解析対象

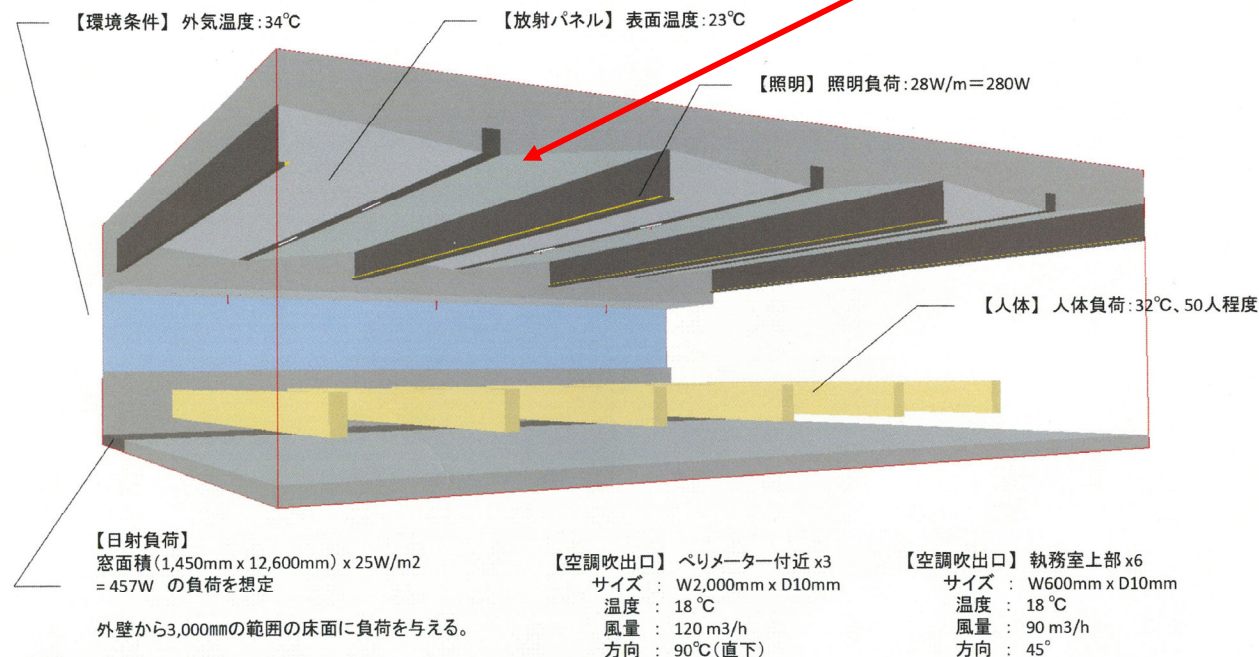
○入力：2次元モデルの基礎データによる

○人体モデルは、直方体の2次元の簡易モデルとし、表面温度32℃一定



3スパンを解析対象

天井面は傾斜している



天井放射パネル温度23℃
外気温度34℃

○天井放射+天井給気方式

窓は日射遮蔽にて、天空日射のみが室内へ入射として床面へ吸熱するとしている

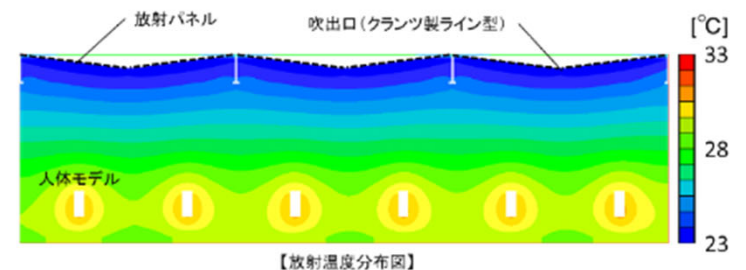
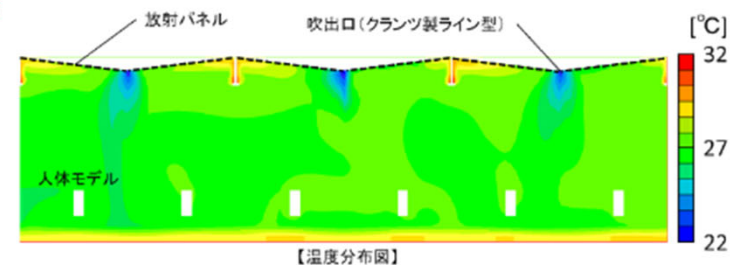
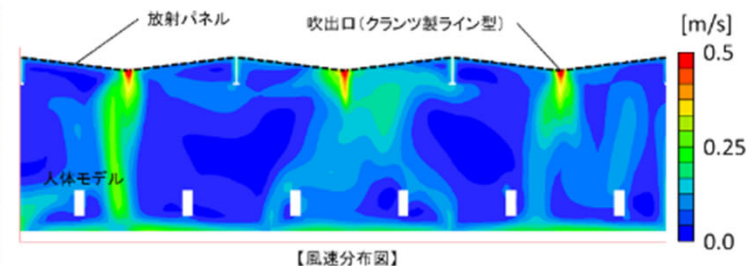
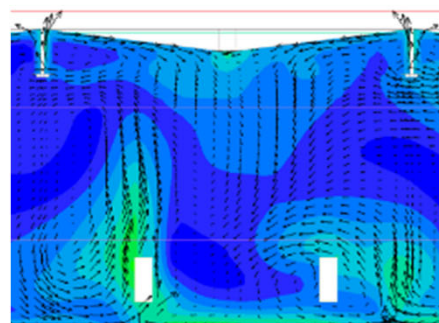
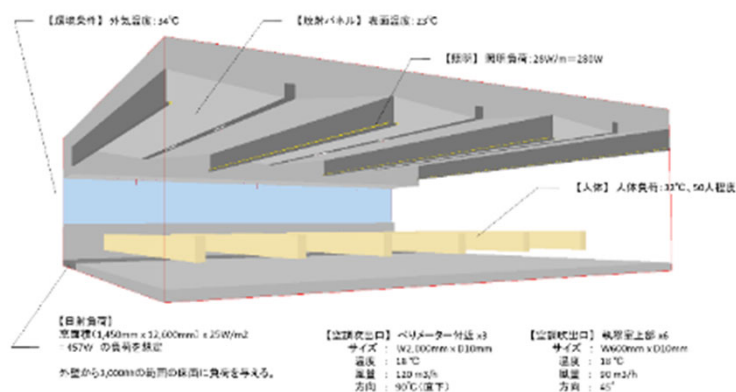
③3次元実空間のCFD解析結果-1

水冷媒天井放射空調システムの実設計段階のCFDによる検証

実施設計時にはシステムの検証として放射温度分布を含めたCFD解析を実施。

解析条件

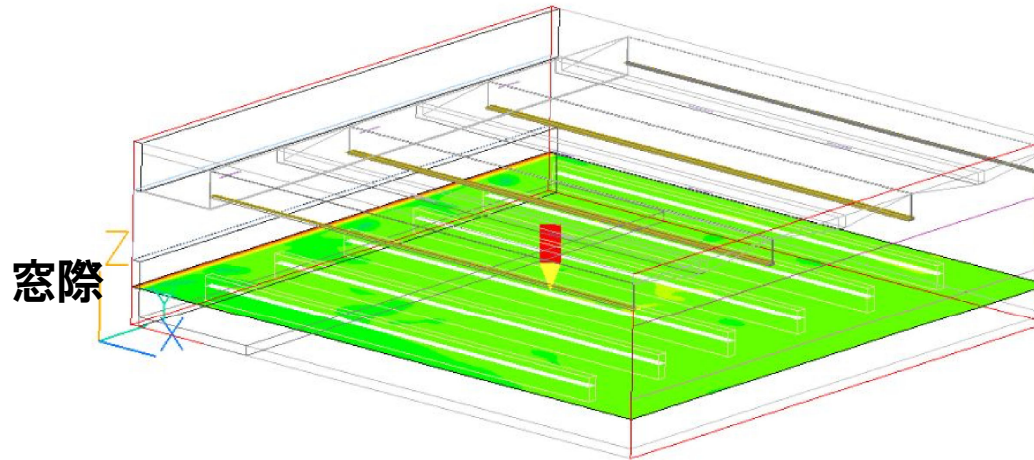
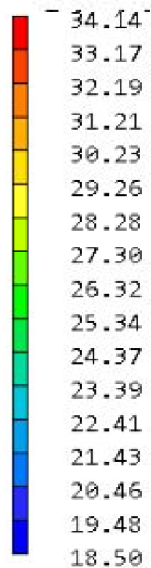
2 モデルイメージ 設定値



解析ソフト: CHAM社3次元汎用熱流体解析ソフトPHOENICS

③3次元実空間のCFD解析結果-2

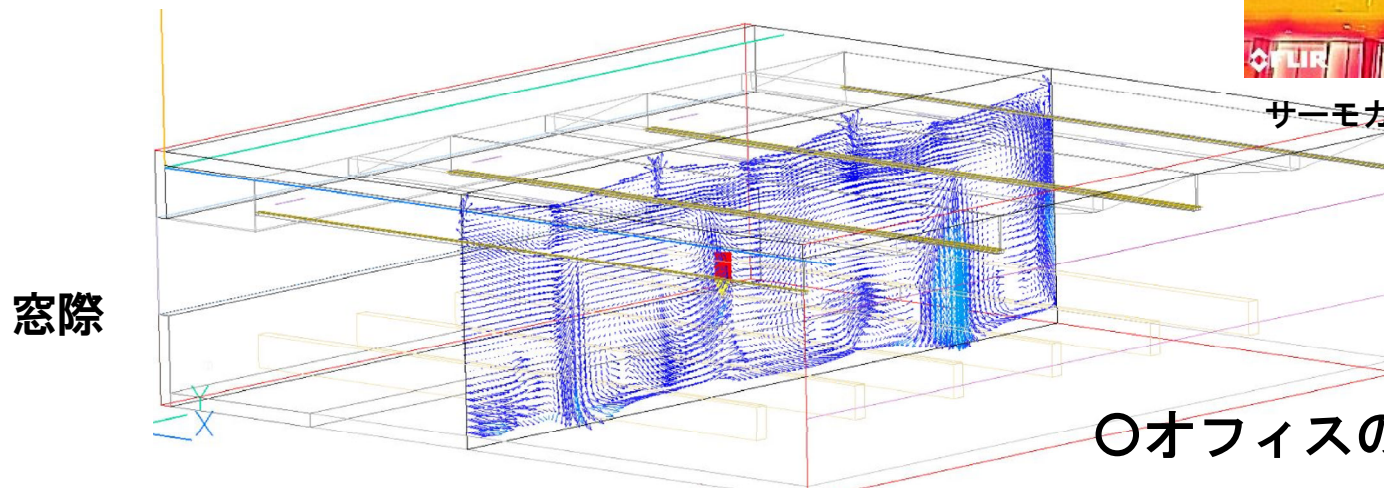
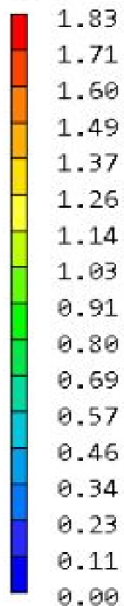
Temperature, °C 演算時間は約31時間にて誤差3%にて収束、演算終了時SEEP: 10000



○オフィスの室温分布（床上0.8m）

- 均質な26°C前後の室温分布を示す

Velocity, m/s

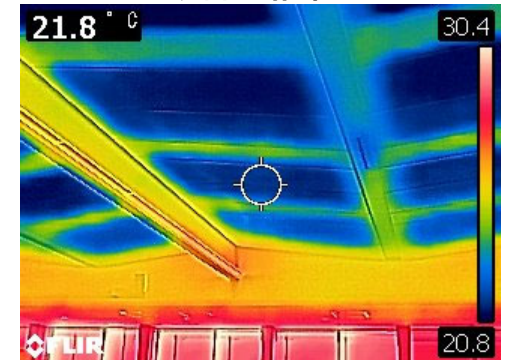


○オフィスの気流分布

- 気流は0.2m/s前後のドラフトの感じない傾向を示す



サーモカメラ計測結果（オフィス）

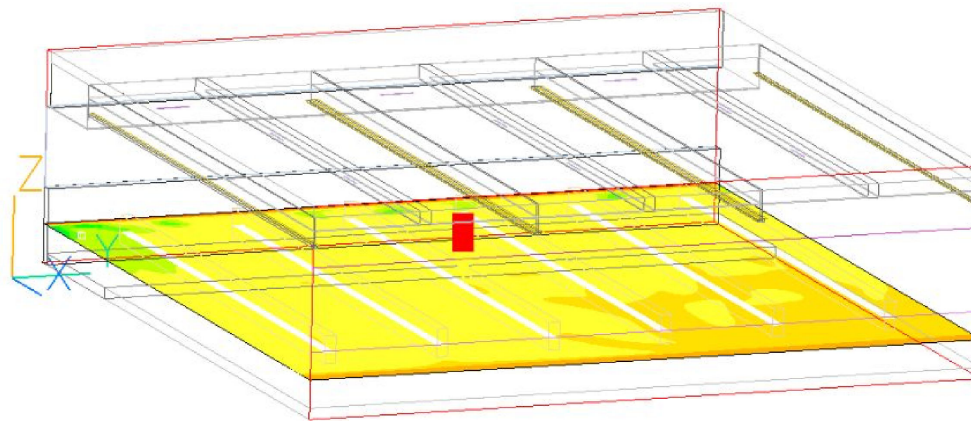
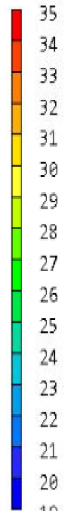


サーモカメラ計測結果（天井）

③3次元実空間のCFD解析結果-3

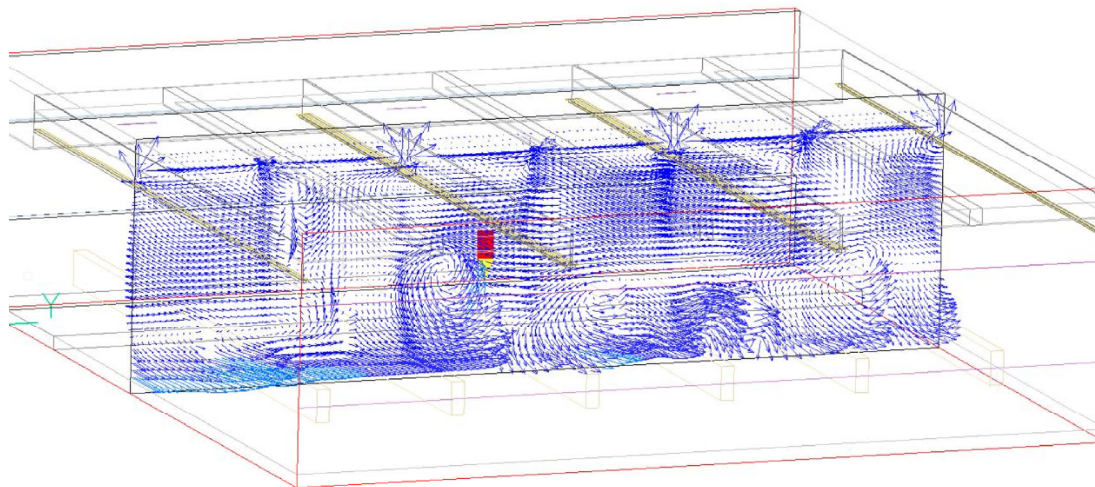
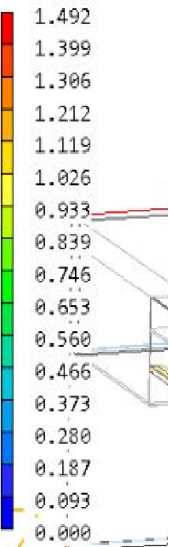
天井面がフラットな水平の場合には、放射パネル表面温度 23°C では、室温は平均 29.4°C であり、目標の室温 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ のためには、放射パネル表面温度を 23°C 以下に下げることが必要がある

Temperature, $^{\circ}\text{C}$



床上0.7mの室温の水平分布

Velocity, m/s



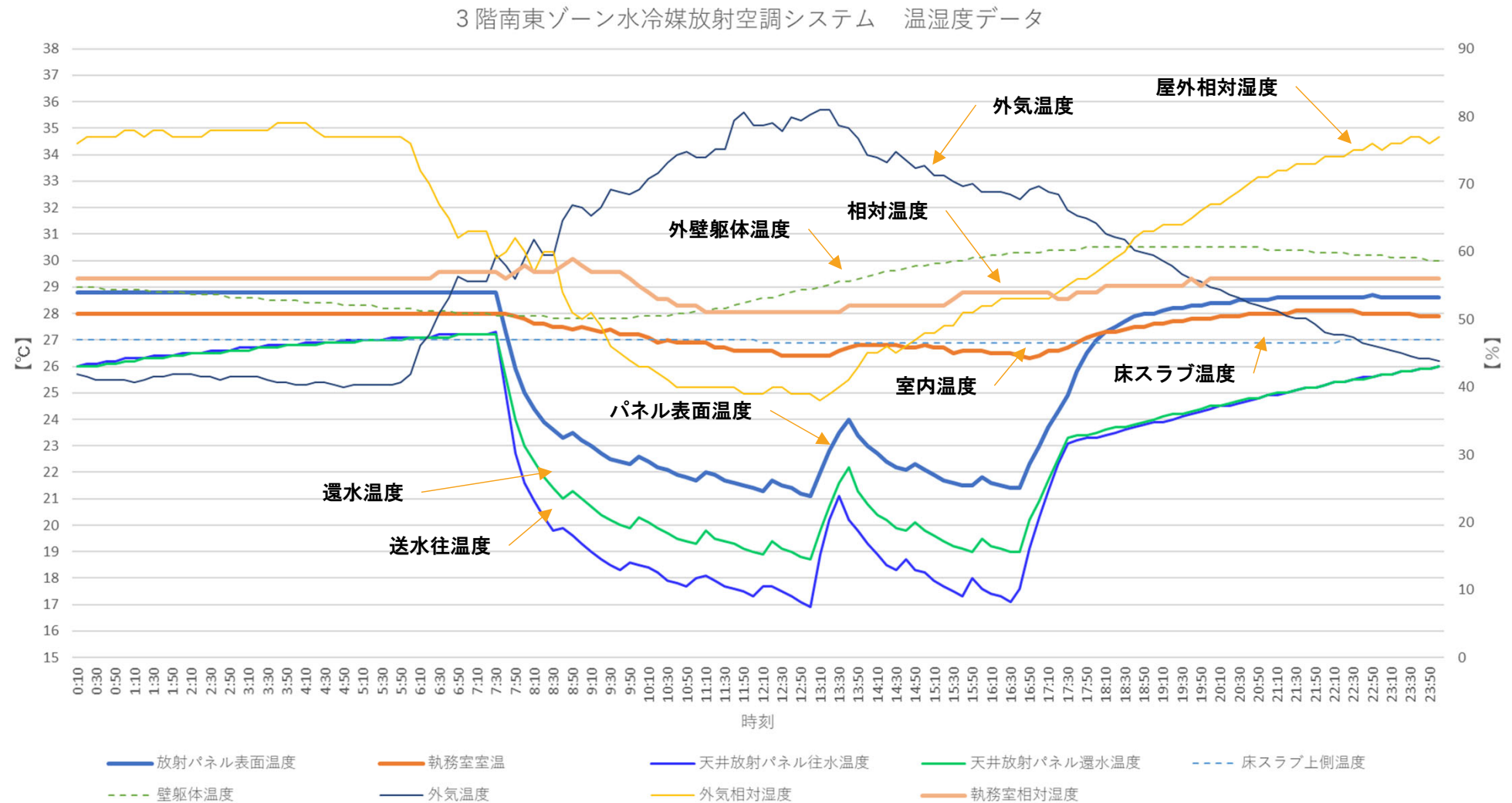
解析領域中央部の断面の風速分布

○考察

水冷媒天井放射パネルの傾斜により、室内顕熱負荷処理熱量の性能アップにかかわることが示された。

④計測結果(夏季冷房時)

3階水冷媒放射空調システム～8月3日 放射パネル温度と室温、往還冷水温度、躯体温度の関係 中央監視BEMSデータより～

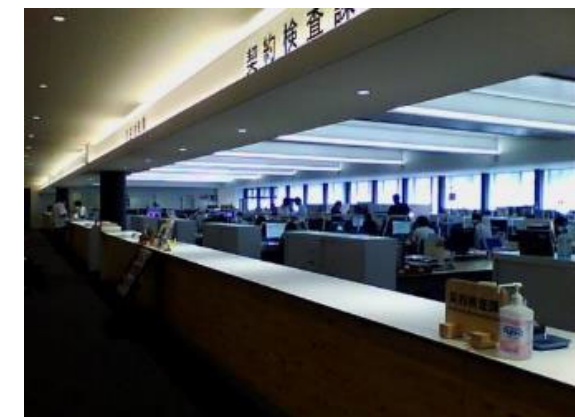
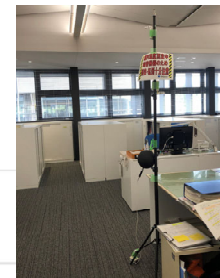
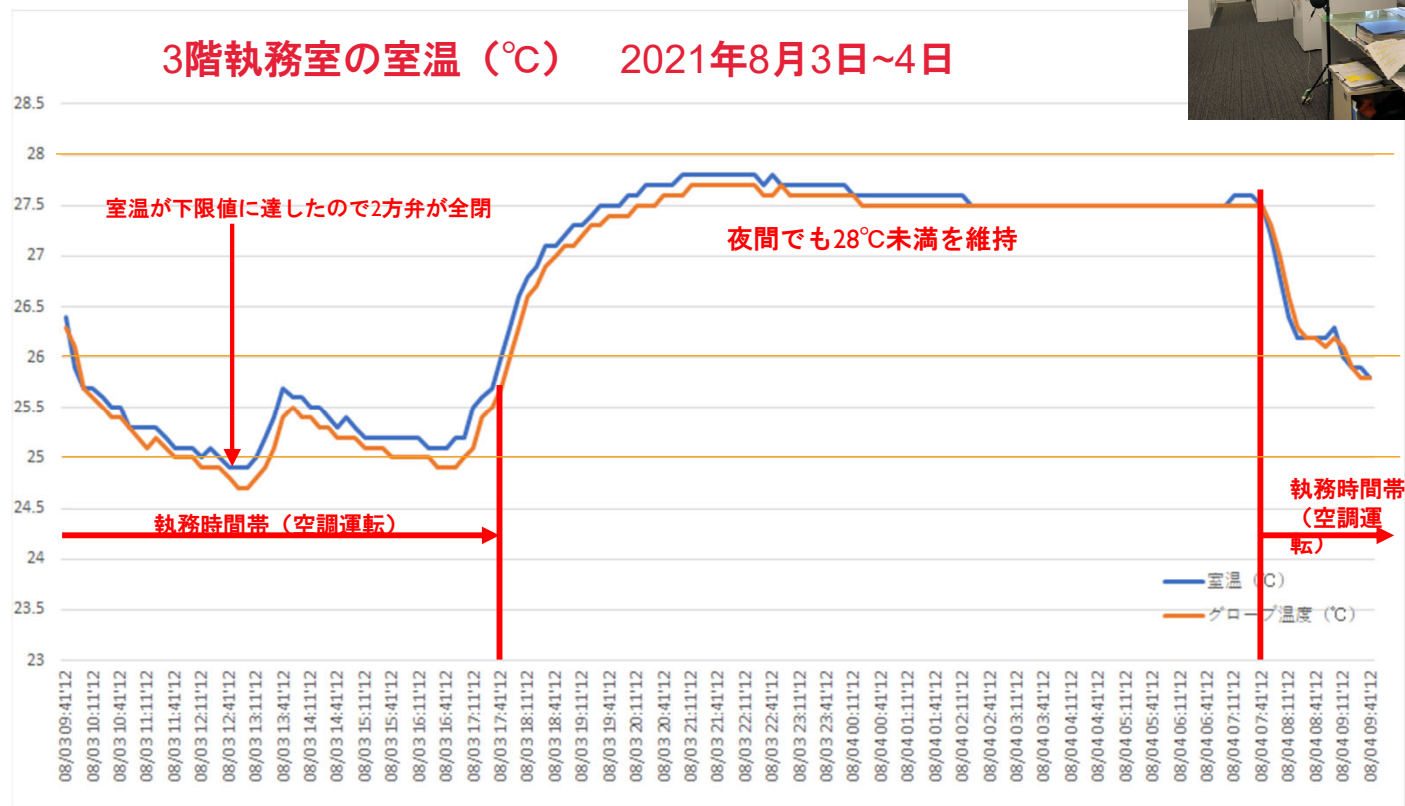


地中熱利用専用熱源システム(夏季冷房時計測結果) : COP : 約5.9、COPs : 約5.3

④計測結果(夏季冷房時)

水冷媒天井放射空調システムの実測結果

設計時のCFD解析に対して現地実測・竣工後の検証を行った

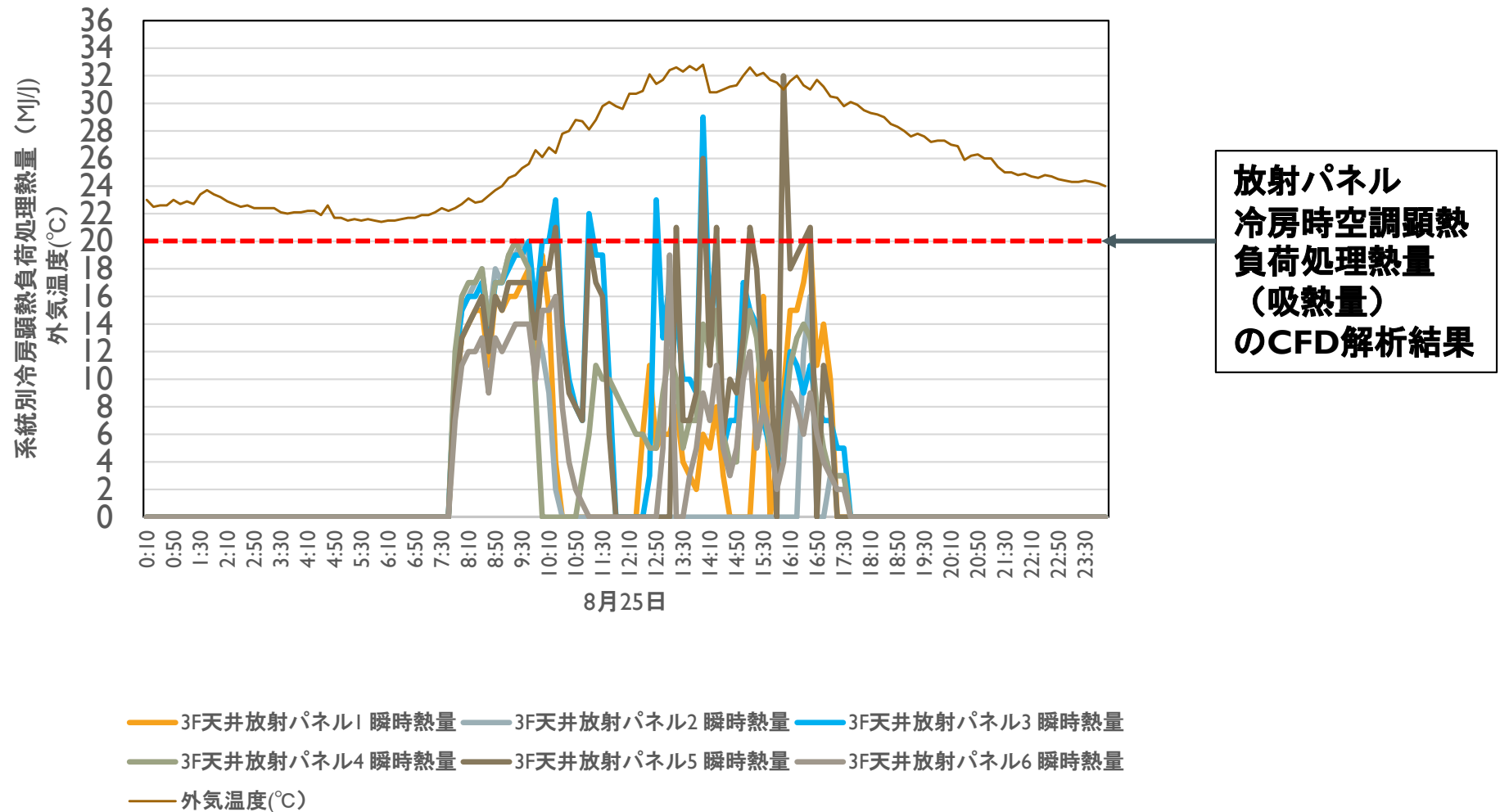


総評：放射パネルは適切に制御されている。室温は概ね25°C~26°Cで推移している（設定温度25.5°C）
断熱性能が良かったため夜間でも室温は28°C未満であり、立上り負荷の削減となっていると推測できる。

※グローブ温度：放射の影響も含めた等価温度

⑤計測結果の考察

3階フロアの水冷媒天井放射空調パネル 6ゾーン別の消費エネルギーデータの評価と考察



ヒートパイプとは…

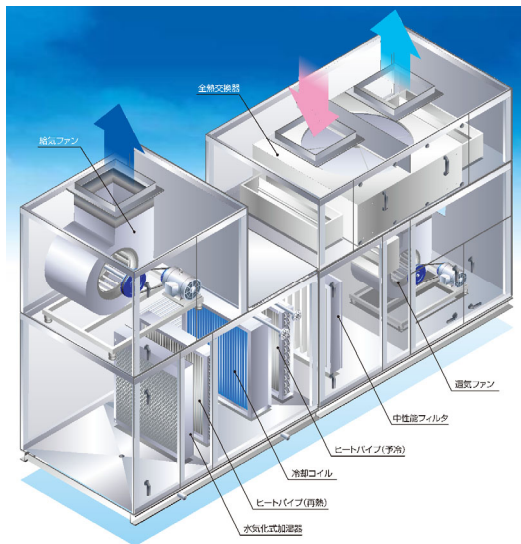
ヒートパイプ (予冷側)

予冷側で
暖められた
冷媒が蒸発
して再熱側へ

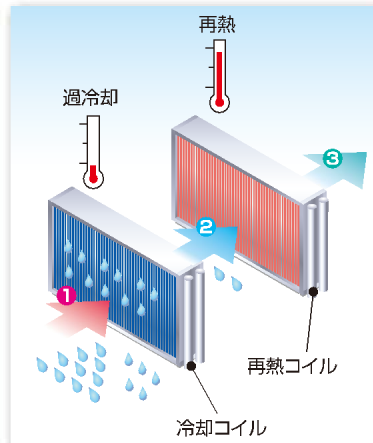
再熱側で
冷やされた
冷媒が凝縮
して予冷側へ

冷却コイル

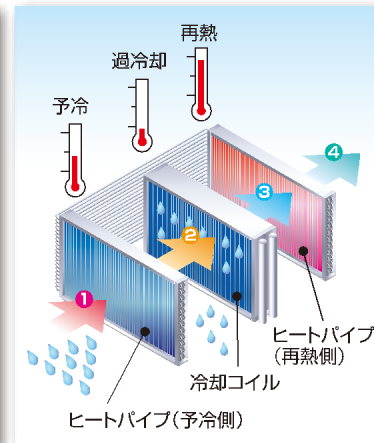
ヒートパイプ (再熱側)



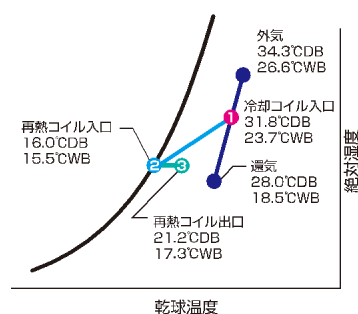
一般型



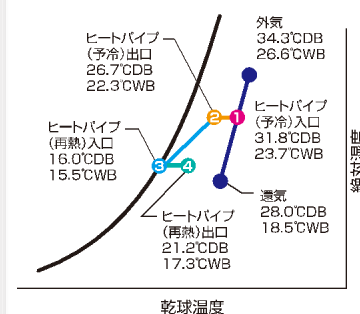
除湿用ヒートパイプ組込型



空気線図でみる一般型空調機



空気線図でみる除湿用ヒートパイプ組込型



外調機内部



予冷側



再熱側

出展 新晃工業ヒートパイプ組込型空調機リーフレットより

42

第3章 まとめ

●考察

- 3次元モデル空間の2次元モデルとなるように工夫した入力によるCFD解析を行うことで、設計ツールとして効率よく活用できる。
- 水冷媒天井放射パネルが傾斜した空間デザインについて、その性能をCFD解析にて予測できる。
- 大部屋オフィスでの負荷処理システムゾーニングにて部分負荷制御に対応できる。
- 室温の制御は、放射パネル表面温度のリセット制御を行うことで室温制御できる。

●課題

- 更なるCFD解析の活用、計測による検証が必要である。
- コンピューティショナルデザインの展開において、空間形態のモデルの簡略化の必要性などを意見していく必要がある。

最後に

脱炭素社会に向けて、水冷媒放射空調システムの普及が、設計における解析手法の向上とともに期待される。

18℃の冷水の送水にて、一般のオフィスビルであれば、表面パネル温度制御で、質の高い冷房時の温熱環境を創出できる。

水冷媒天井放射空調システムは、パッシブデザインと換気システムによる健康的な空気環境への配慮とともに計画することが大切である。

本2事例はともに、空調熱源は地中熱利用のシステムであり、水冷媒天井放射空調システムを採用することで、空調熱源システムの効率の向上とともに、将来の設備更新による更なる省CO₂の促進が期待される。

～本セミナーの資料の作成に関わられた石本建築事務所の所員～

◆OIT梅田タワー

大阪オフィス	東堂博文	(機械設備の設計担当及び計測評価担当)
東京オフィス	海老原昌貴	(評価分析担当)
東京オフィス	橋本侑美	(評価分析担当)

◆上田市庁舎

東京オフィス	上田仁人	(機械設備の設計担当及び計測評価担当)
東京オフィス	行谷拓哉	(C F D解析担当)