



上田市本庁舎の水冷媒天井放射空調システム

発表者

株式会社 石本建築事務所

エンジニアリング部門 環境グループ

兼 環境統合技術室 次長 上田仁人

はじめに

コンテンツ

- 上田市庁舎の建物概要
- 省エネ・省CO₂への取組
- 各階プランの概要
- 空調熱源方式、空調方式概要
- 水冷媒天井放射空調の設計上留意点
- 水冷媒天井放射空調システム構造・仕様・制御概要
- BEMSデータを用いた分析結果（2022年度）
- 水冷媒天井放射空調の運用状況（2022年度）
- 今後の予定

上田市庁舎の概要

既存改修（南庁舎）

新築（本庁舎）

| | |
|------|--|
| 敷地 | 長野県上田市 |
| 敷地面積 | 10,399.68m ² |
| 建築面積 | 2,593.43m ² |
| 延床面積 | 15,858.13m ² 、うち新庁舎13,031.99m ² （増築部分） |
| 用途 | 事務所（庁舎） |
| 階数 | 地下1階・地上6階建 |
| 構造 | 鉄骨造（基礎免震） |
| 工事期間 | 2019.01～2021.03 （2期工事 2021.07～2023.03） |



サステナブル建築物等先導事業（省CO₂先導型）採択プロジェクト

建築主 上田市

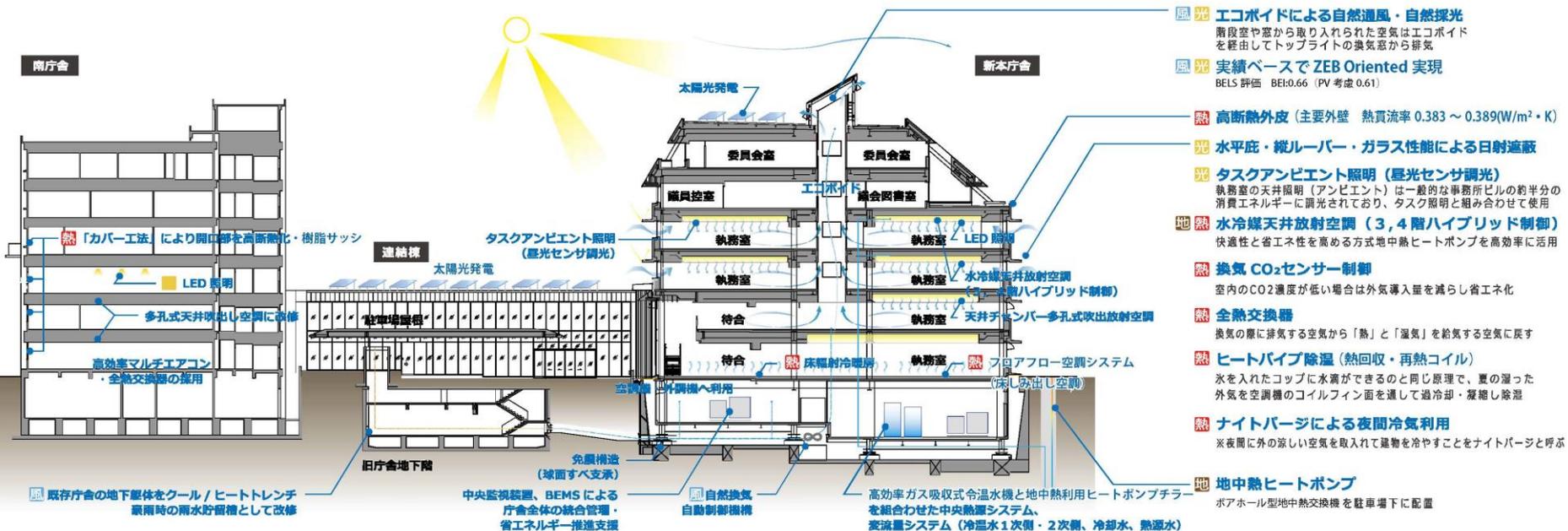
設計監理 石本・第一設計共同企業体

C M 三菱地所設計（CM選奨2020優秀賞）

施工 清水・千曲・栗木特定建設工事共同企業体

（空調・衛生設備工事サブコン：ダイダン株式会社）

上田市庁舎の省エネ・省CO₂の取組



採用されている環境技術

| 上田の気候風土 | 環境提案 |
|--|-----------------------------------|
| 光 全国有数の日照 2174時間/年 | ・太陽光発電 ・自然採光 |
| 熱 盆地特有の寒暖差 夏期中間の平均最高気温差10.2℃ | ・ナイトバージ ・高断熱外皮 ・クール/ヒートトレンチ |
| 風 穏やかな風 年平均1.8m/s | ・自然通風 |
| 地 安定した地中温度 既存庁舎の地下躯体利用 | ・地中熱ヒートポンプ ・水冷天井放射空調 |

機器・システムの高効率化

- ・変圧器、搬送動力機器の電動機の高効率化
- ・冷水水や空調風量の変流量システム

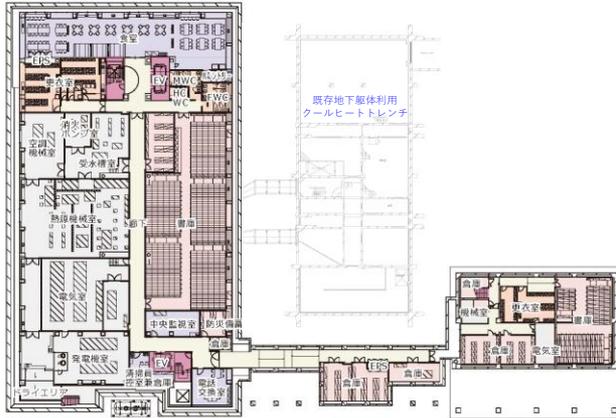
探してみよう 環境配慮技術が庁舎内で実際に使われている場所に、それぞれマークがされています。

| | | | | |
|--|--|---|---|--|
| <p>クールヒートトレンチ</p> <p>旧庁舎の地下躯体と地中熱の通り道として改築した庁舎へ取り込んでいます。1年を通して安定した地中の温度を利用して空調を冷やすことで、空調負荷を低減しています。</p> | <p>自然換気</p> <p>階段室や窓から取り入れられた空気はエコポイドを經由してトップライトの換気窓から排気されます。</p> | <p>本館合部熱カーテンウォール</p> <p>多くの窓が設置する本館合部には、上田庁舎を設計した建築シスチンを使用し、高断熱化と気密化を図っています。</p> | <p>タスクアンビエント照明</p> <p>執務室の天井照明 (アンビエント) は一般的な事務所ビルの約半分の消費エネルギーに調光されています。タスク照明と組み合わせて使われます。</p> | <p>水冷天井放射空調</p> <p>この建物の天井は中層を使用し、夏は冷たく冬は暖かく使えます。天井パネルと本体とでしっかりと熱交換して空気を冷やして除湿し除湿機に代わります。</p> |
| <p>太陽光発電</p> <p>南庁舎には70kW分の太陽光発電を設置しています。旧庁舎の屋根に設置された太陽光発電の電線と併用しています。</p> | <p>地中熱利用</p> <p>1年を通して安定した地中熱を、駐車場下に埋められた地中熱ポンプによって建物の熱源に利用しています。</p> | <p>変流量空調</p> <p>表裏が異なる複数の社会エリアは、必要に応じて変流量システムにより、高い空調効率を実現しています。</p> | <p>LED照明</p> <p>庁舎の照明は全て、高効率化のために全量LED照明としています。</p> | <p>高性能外皮</p> <p>建物の外壁部は、断熱材 (断熱性60mm)、高性能Low-Eガラス、水平庇と縦ルーバーの組み合わせで日射遮蔽率を高めています。</p> |

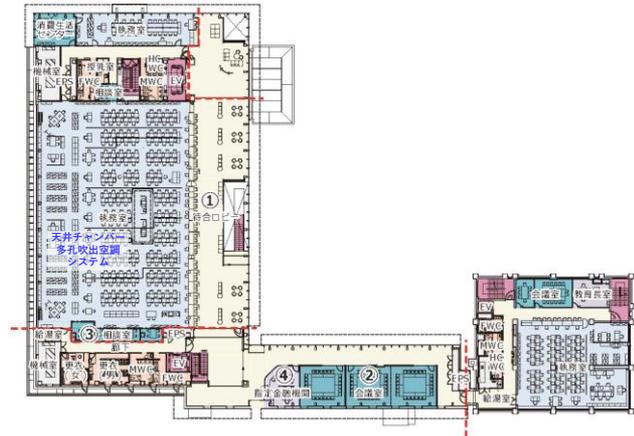


この建物のエネルギー消費量 **39%**削減
2022年12月26日交付国土交通省告示に基づく第三者認証

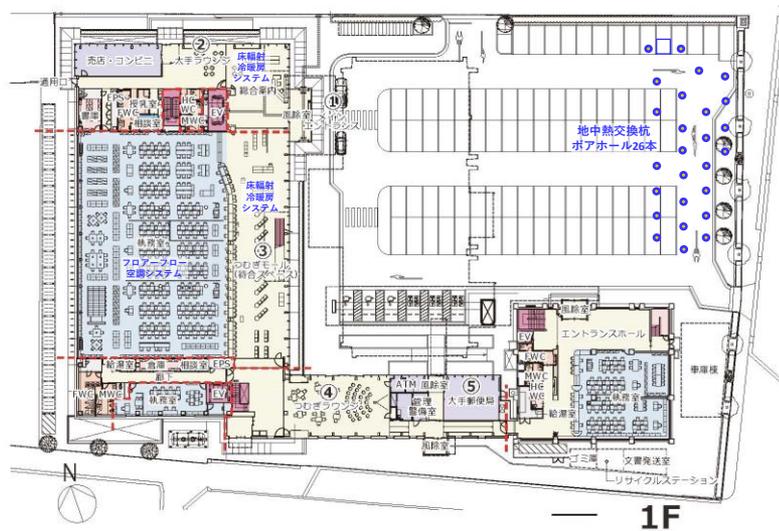
各階プラン (地下1階～3階)



B1F



2F



1F

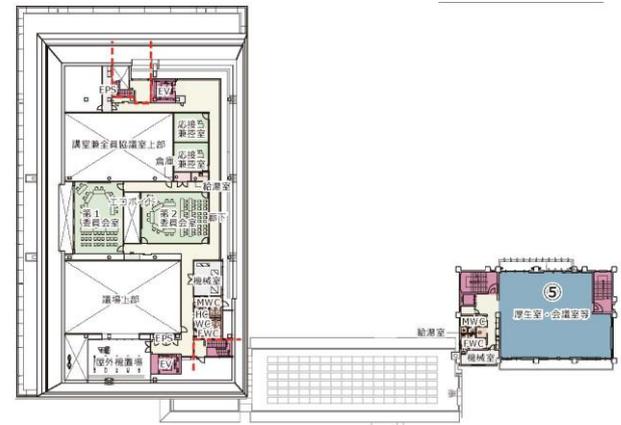


3F

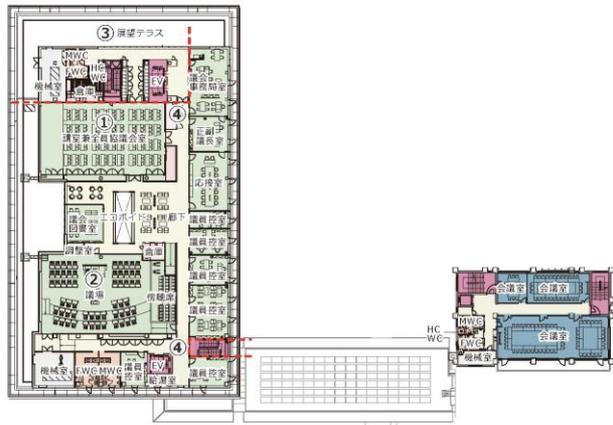
各階プラン (4階～屋上階)



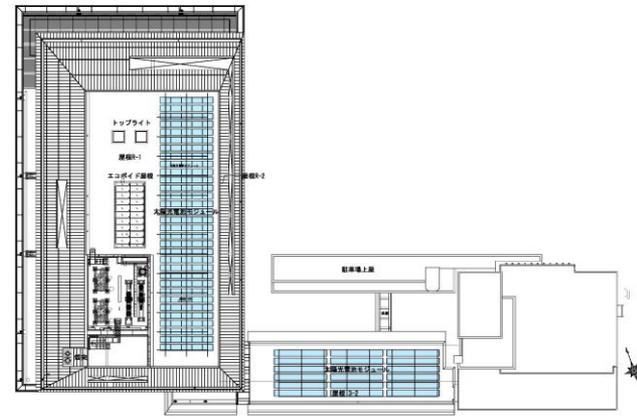
4F



6F



5F



RF

空調熱源方式（フロー図）

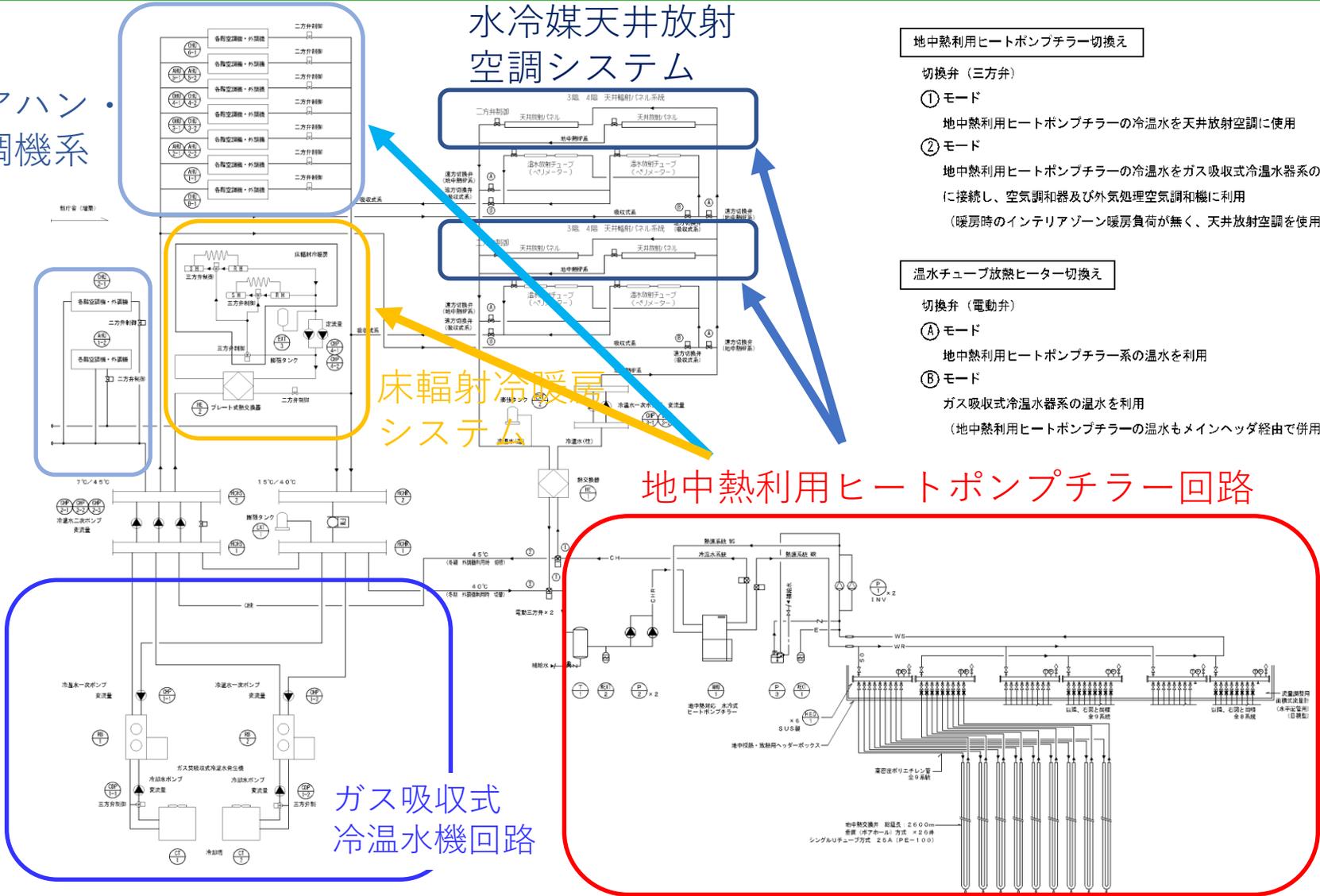
エアハン・外調機系

水冷媒天井放射空調システム

床放射冷暖房システム

ガス吸収式冷温水機回路

地中熱利用ヒートポンプチャラー回路



地中熱利用ヒートポンプチャラー切換え

切換弁（三方弁）

- ① モード
地中熱利用ヒートポンプチャラーの冷温水を天井放射空調に使用
- ② モード
地中熱利用ヒートポンプチャラーの冷温水をガス吸収式冷温水器系の冷温水配管回路に接続し、空調調器及び外気処理空調機に利用
(暖房時のインテリアゾーン暖房負荷が無く、天井放射空調を使用しない時期のみ)

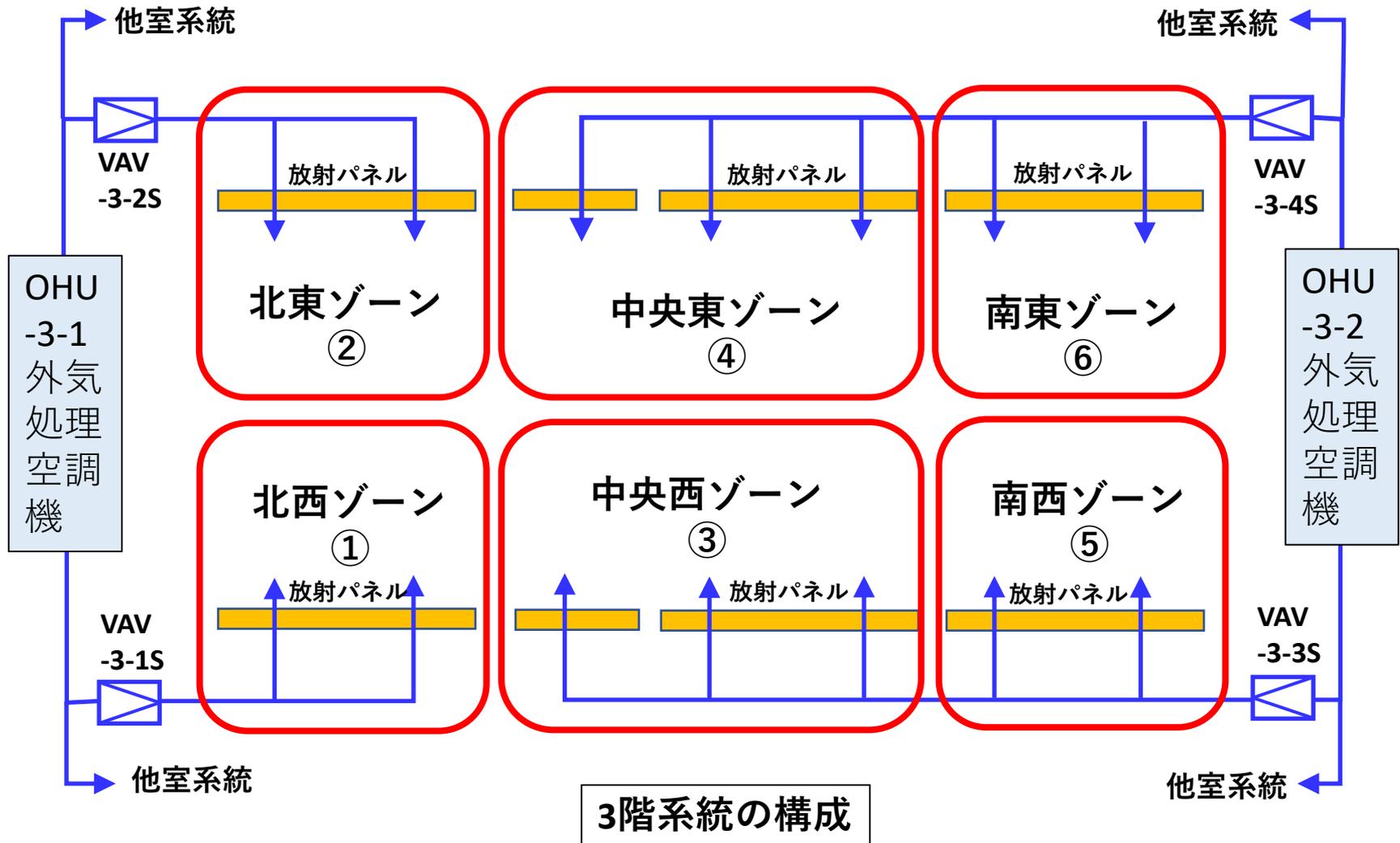
温水チューブ放熱ヒーター切換え

切換弁（電動弁）

- ① モード
地中熱利用ヒートポンプチャラー系の温水を利用
- ② モード
ガス吸収式冷温水器系の温水を利用
(地中熱利用ヒートポンプチャラーの温水もメインヘッド経由で併用)

水冷媒天井放射パネル空調方式

水冷媒天井放射パネル + 外気処理エアハンVAV

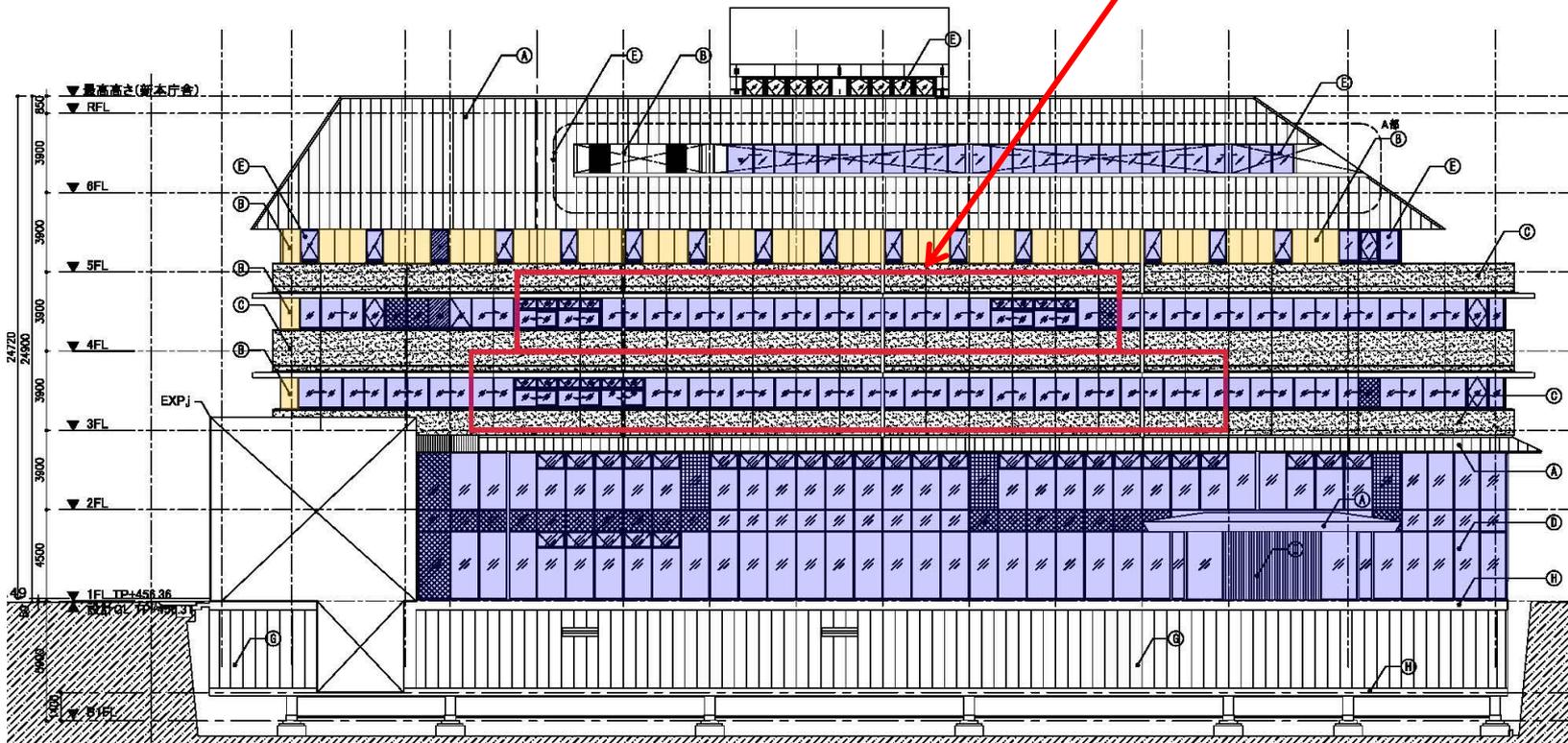


水冷媒天井放射空調システム・設計上の留意点

- 実施設計時にCFD解析を用いた予測
- 外壁・開口部からの輻射熱対策
- 放射パネルの表面結露の対策
- 構造梁、アンビエント照明器具、放射パネルの統合されたデザイン

外壁・開口部からの輻射熱対策

水冷媒天井放射空調システム対象室



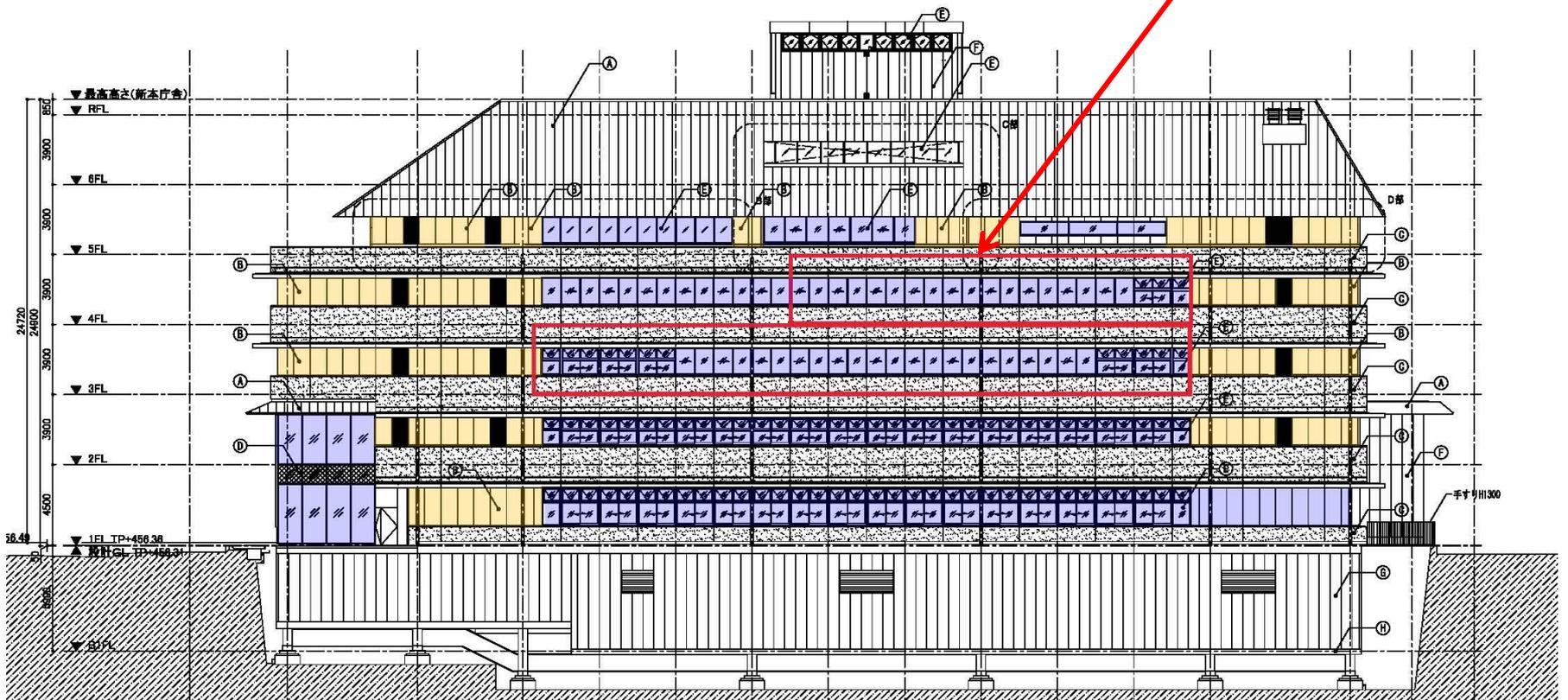
東側立面

■ ガラスLOW-E複層ガラス 熱貫流率1.4 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

外壁：プレキャストコンクリート+吹付硬質ウレタンフォームA種1H 熱貫流率 ($0.389\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

外壁・開口部からの輻射熱対策

水冷媒天井放射空調システム対象室



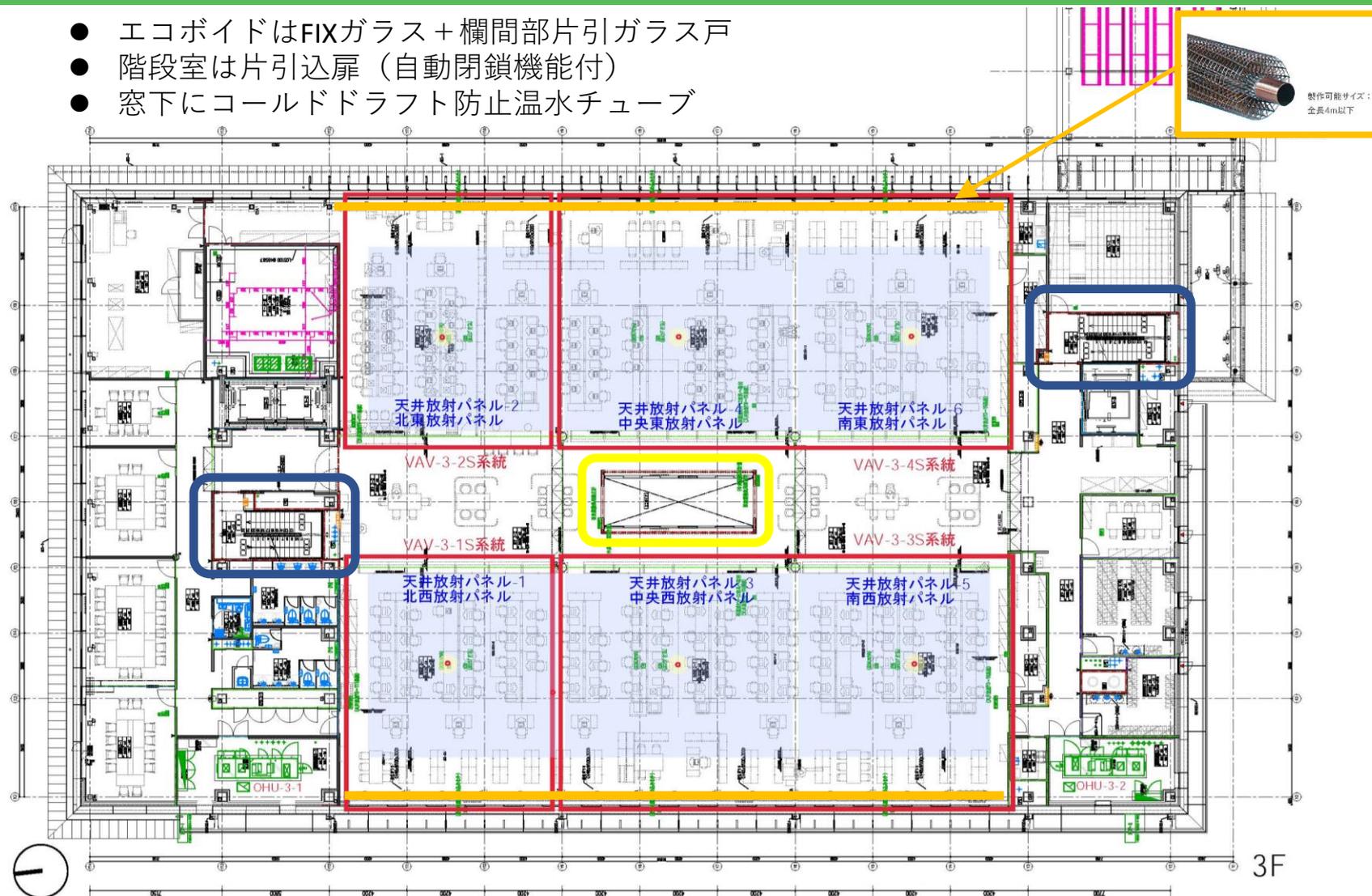
西側立面

■ ガラスLOW-E複層ガラス 熱貫流率1.4 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

外壁：プレキャストコンクリート+吹付硬質ウレタンフォームA種1H 熱貫流率 ($0.389\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

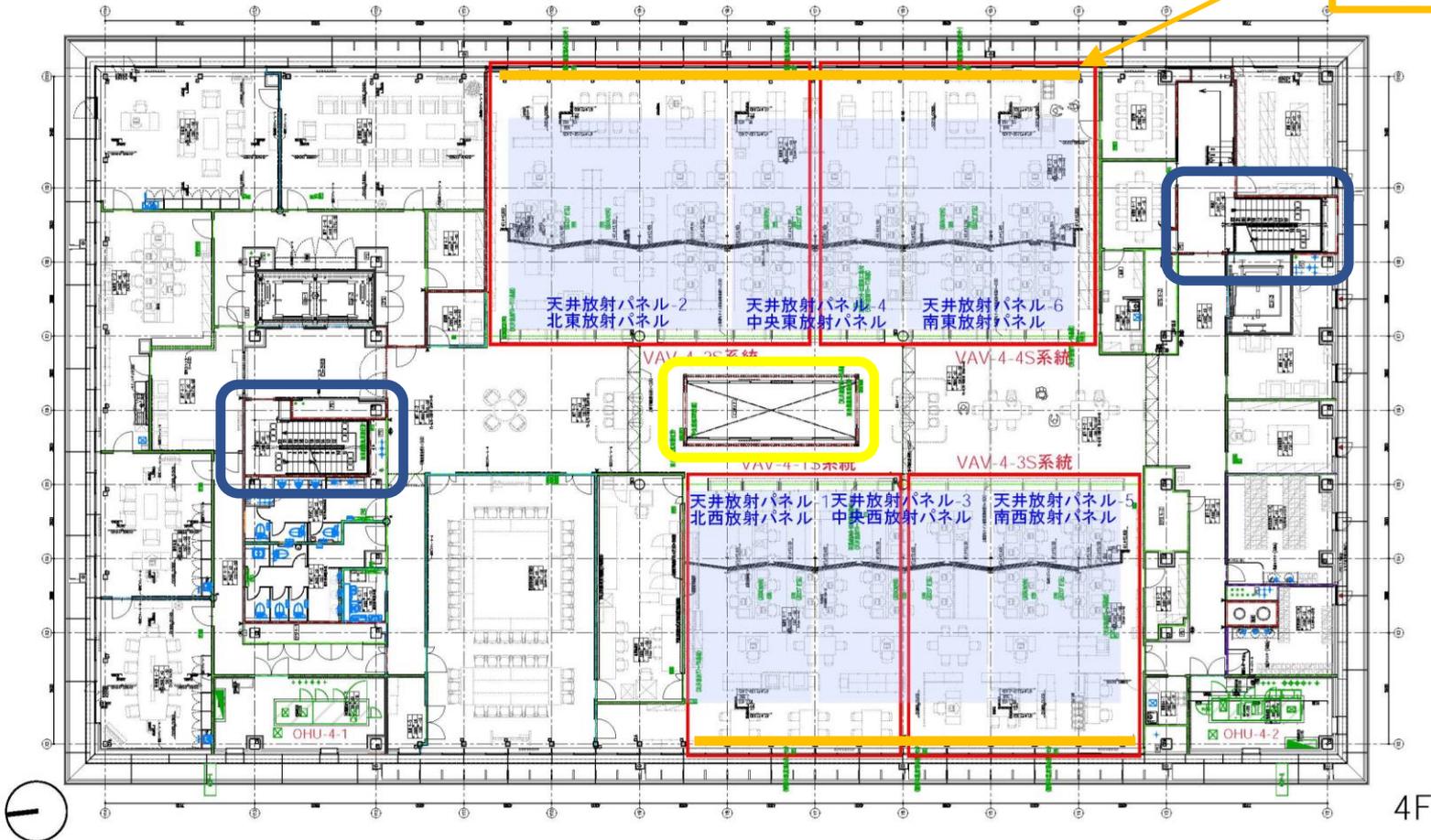
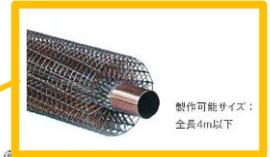
天井放射空調 エリア 3階プラン

- エコボイドはFIXガラス + 欄間部片引ガラス戸
- 階段室は片引込扉（自動閉鎖機能付）
- 窓下にコールドドラフト防止温水チューブ

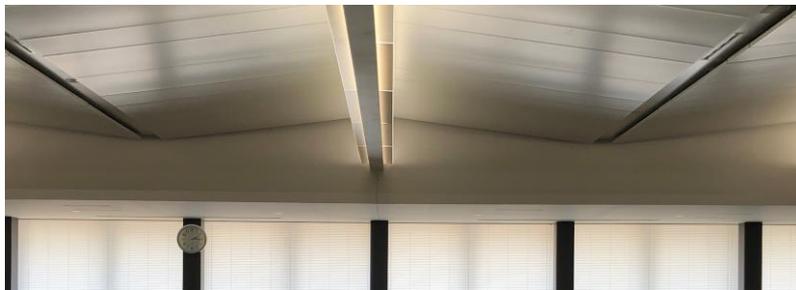
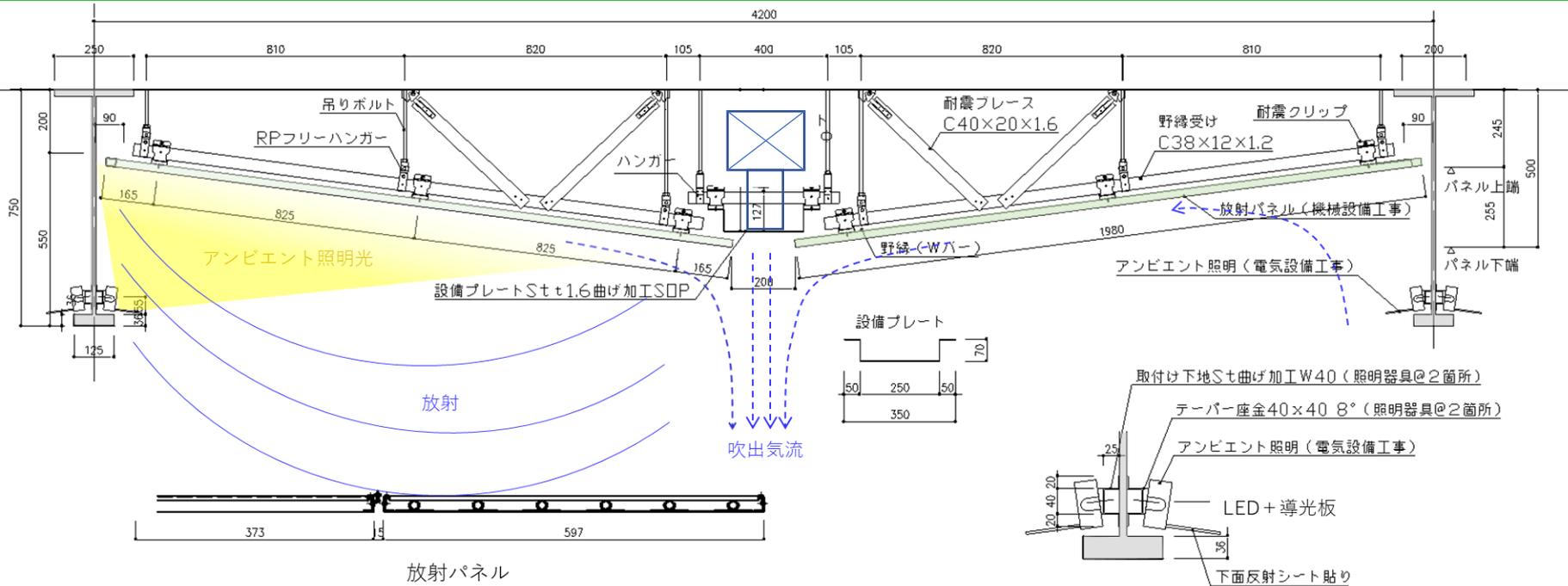


天井放射空調 エリア4階プラン

- エコボイドはFIXガラス+欄間部片引ガラス戸
- 階段室は片引込扉（自動閉鎖機能付）
- 窓下にコールドドラフト防止温水チューブ



水冷媒天井放射システムの構造・デザイン



放射パネルとアンビエント照明



吹出口 (クランツ製)



施工時写真

放射パネルの設計仕様

- ・形状：アルミ多孔板（パンチング）
- ・寸法：600mm × 1980mm
- ・冷温水送水温度：冷水16°C、温水35°C $\Delta T = 2^\circ\text{C}$
- ・定格能力：冷房85W/m²、暖房63W/m²（パネル面積あたり）
- ・設計室温：冷房28°C、暖房22°C
- ・設計定格パネル表面温度（冷房）：23°C

3階執務室エリア

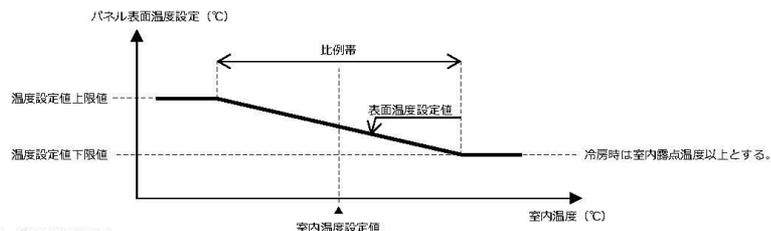
| ゾーン名称 | 床面積 (m ²) | 放射パネル面積 (m ²) | パネル実装率 (%) | 設計冷却能力 (kW) | 床面積あたり処理熱量 (W/m ² ・h) |
|-------|-----------------------|---------------------------|------------|-------------|----------------------------------|
| 北東 | 153 | 71 | 46.4 | 6.035 | 39.44 |
| 中央東 | 160 | 86 | 53.75 | 7.310 | 45.69 |
| 南東 | 146 | 71 | 48.63 | 6.035 | 41.34 |
| 北西 | 153 | 71 | 46.4 | 6.035 | 39.44 |
| 中央西 | 160 | 86 | 53.75 | 7.310 | 45.69 |
| 南西 | 146 | 71 | 48.63 | 6.035 | 41.34 |

放射パネルの制御

放射パネル表面温度カスケード制御

室内取付けの室温センサにより室内温度を検出し、室温設定値に追従するようにパネル表面温度設定値を**演算**します。
 なお、冷房時はパネル結露防止のため設定下限値を室内露点温度以上とします。

■パネル表面温度設定値演算の動作

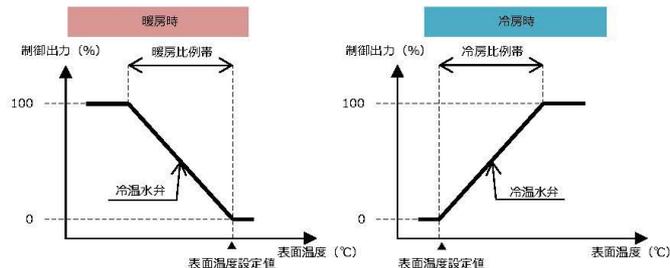


■設定値一覧表(初期案)

| 名称 | 設定(初期) | 設定(変更) | 中央 | 現地 | パラメータ | 備考 |
|-----------|--------|--------|----|----|-------|---------------------------|
| 室内温度設定値 | ※※.※°C | | ○ | | | 参考値(夏季=26°C、冬季=22°C) |
| 比例帯 | 6.0°C | | | | ○ | |
| 給気温度設定値上限 | ※※.※°C | | | | ○ | 設備機器仕様により決定 |
| 給気温度設定値下限 | ※※.※°C | | | | ○ | 冷房時は室内露点温度+2°Cを下限とする(初期値) |

放射パネル表面温度制御

パネル表面取付けの温度センサからパネル表面温度を検出し、**表面温度設定値**に追従するように冷温水弁の比例制御を行います。
 尚、中央監視盤より、冷房/暖房の選択と表面温度設定値の自動/手動選択が行えます。



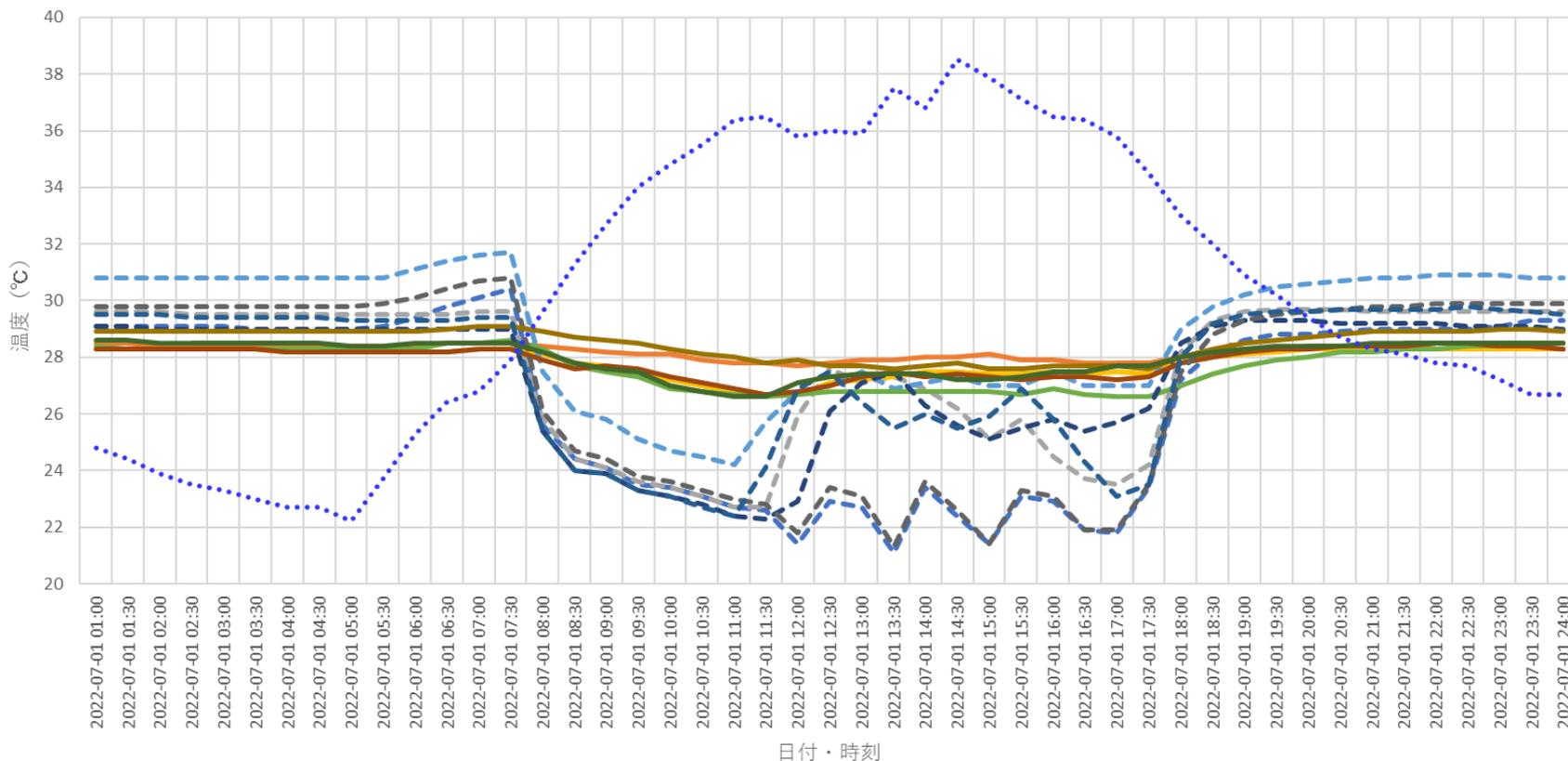
■設定値一覧表(初期案)

| 名称 | 設定(初期) | 設定(変更) | 中央 | 現地 | パラメータ | 備考 |
|--------------|--------|--------|----|----|-------|----------------|
| 給気温度設定切替 | 自動/手動 | | ○ | | | |
| 給気温度設定値 自動 | 自動変化 | | — | — | — | 給気温度設定値演算により可変 |
| 給気温度設定値 手動 | ※※.※°C | | ○ | | | オペレータ操作による設定値 |
| 冷暖切替 | 冷房/暖房 | | ○ | | | |
| 冷房比例帯 | 10.0°C | | | | ○ | |
| 暖房比例帯 | 10.0°C | | | | ○ | |

3階冷房時の室温・パネル表面温度・外気温度

3階執務室天井放射パネル表面温度と室温の関係（冷房）

2022年7月1日

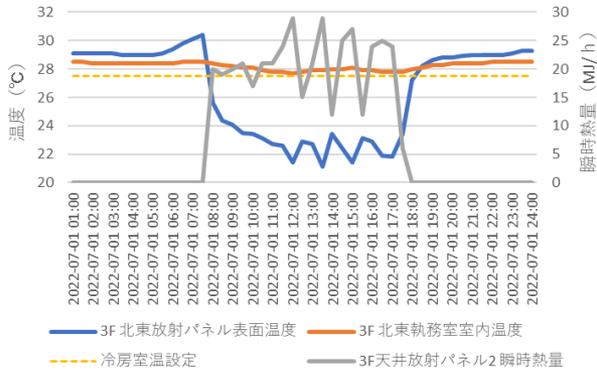


- 3F 北東放射パネル表面温度
- 3F 北東執務室室内温度
- - - 3F 北西放射パネル表面温度
- 3F 北西執務室室内温度
- - - 3F 中央東放射パネル表面温度
- 3F 中央東執務室室内温度
- - - 3F 中央西放射パネル表面温度
- 3F 中央西執務室室内温度
- - - 3F 南東放射パネル表面温度
- 3F 南東執務室室内温度
- - - 3F 南西放射パネル表面温度
- 3F 南西執務室室内温度
- RF 外気温度

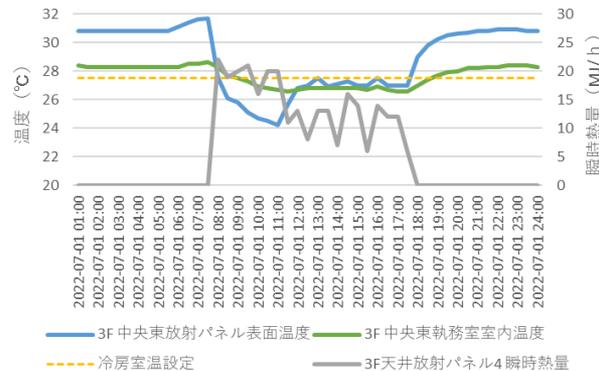
3階冷房時 各ゾーン室温・放射パネル表面温度・熱量

2022年7月1日

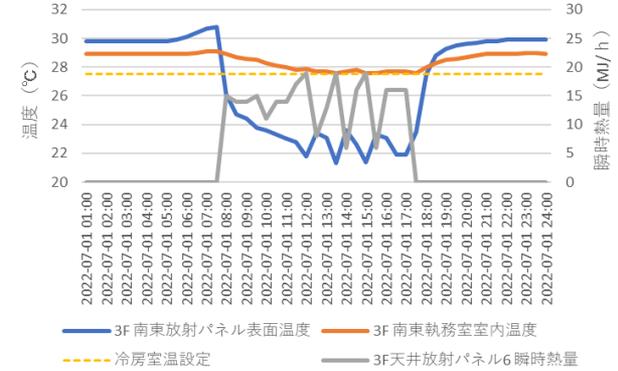
3階北東放射パネル表面温度・室温・熱量



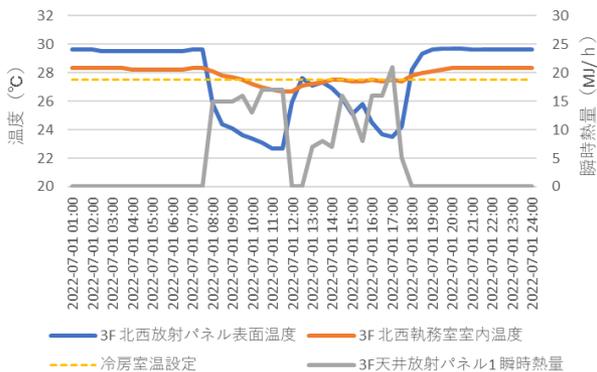
3階中央東放射パネル表面温度・室温・熱量



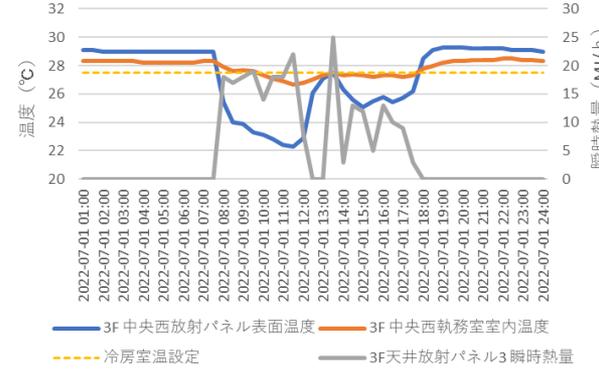
3階南東放射パネル表面温度・室温・熱量



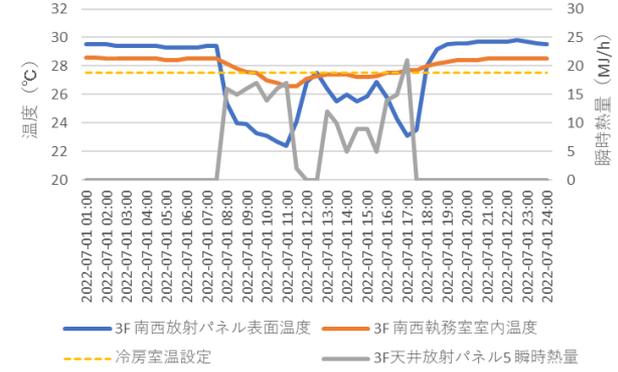
3階北西放射パネル表面温度・室温・熱量



3階中央西放射パネル表面温度・室温・熱量



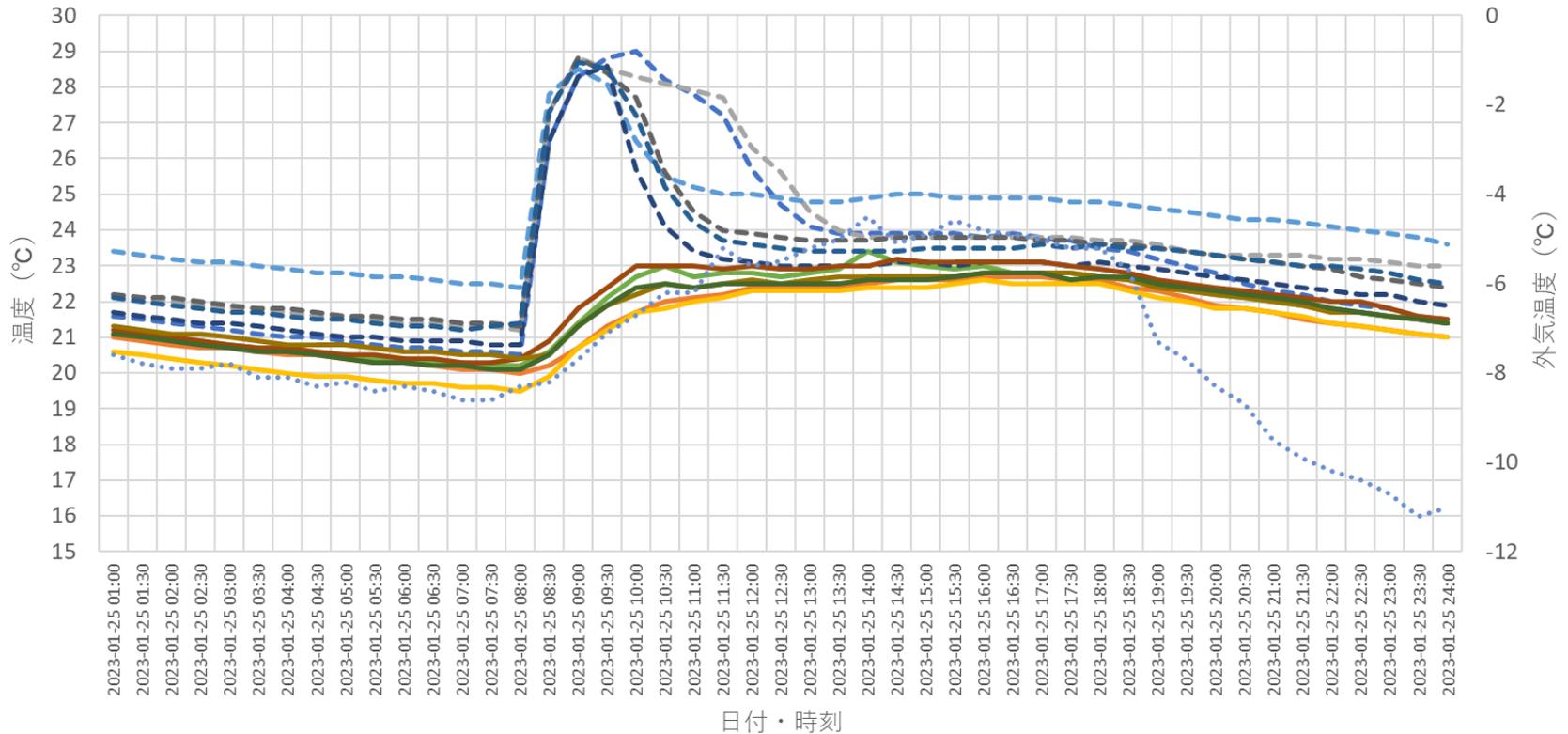
3階南西放射パネル表面温度・室温・熱量



3階暖房時の室温・パネル表面温度・外気温度

3階執務室天井放射パネル表面温度と室温の関係（暖房）

2023年1月25日

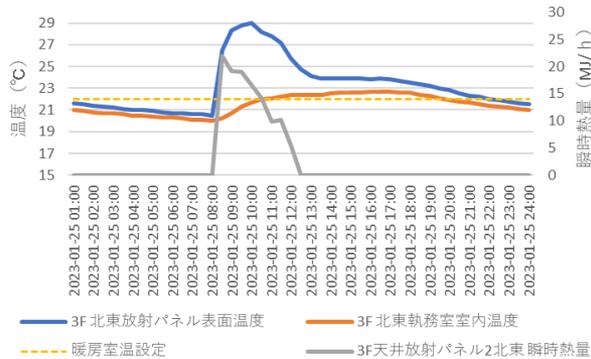


- 3F 北東放射パネル表面温度
- 3F 北西放射パネル表面温度
- 3F 中央東放射パネル表面温度
- 3F 中央西放射パネル表面温度
- 3F 南東放射パネル表面温度
- 3F 南西放射パネル表面温度
- 3F 北東執務室室内温度
- 3F 北西執務室室内温度
- 3F 中央東執務室室内温度
- 3F 中央西執務室室内温度
- 3F 南東執務室室内温度
- 3F 南西執務室室内温度
- RF 外気温度

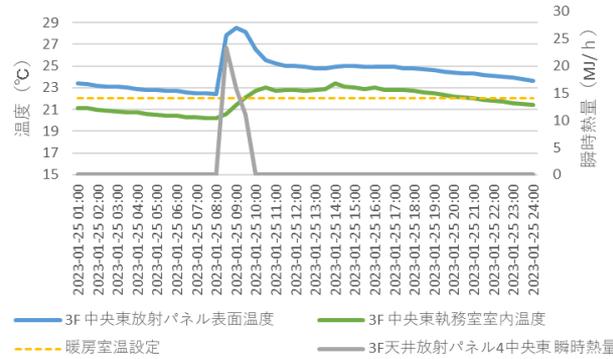
3階暖房時 各ゾーン室温・放射パネル表面温度・熱量

2023年1月25日

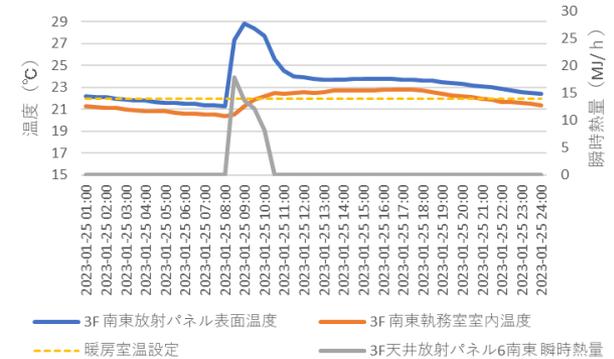
3階北東放射パネル表面温度・室温・熱量



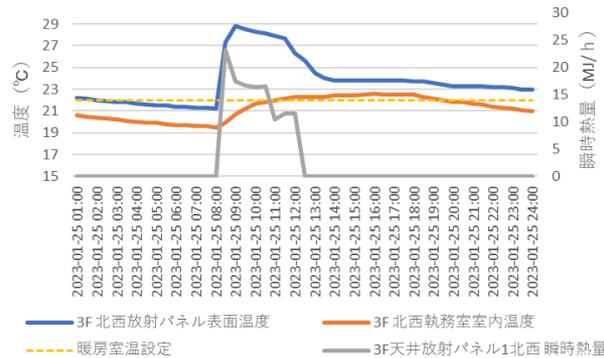
3階中央東放射パネル表面温度・室温・熱量



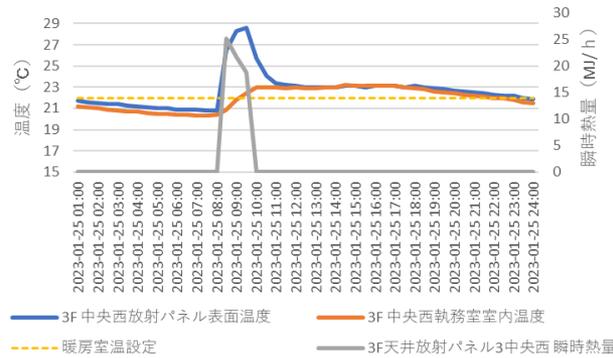
3階南東放射パネル表面温度・室温・熱量



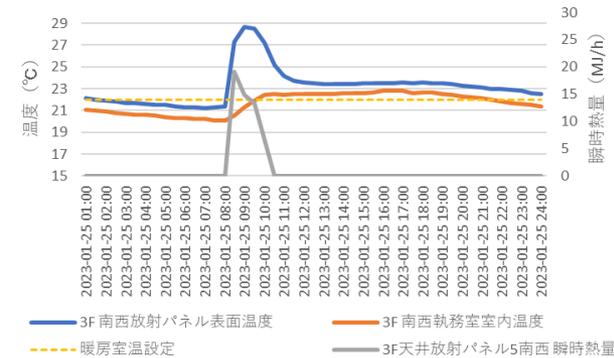
3階北西放射パネル表面温度・室温・熱量



3階中央西放射パネル表面温度・室温・熱量



3階南西放射パネル表面温度・室温・熱量

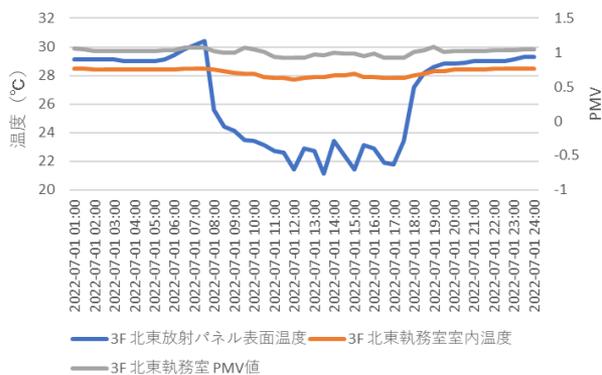


3階冷房時 各ゾーン室温・パネル表面温度・PMV

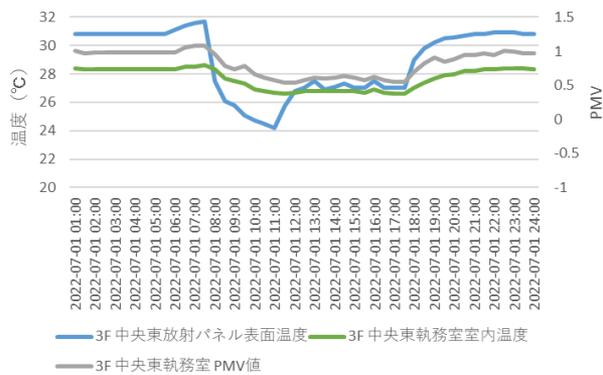
参考

2022年7月1日

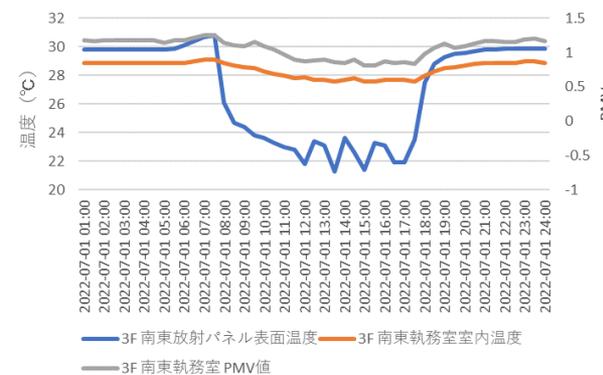
3階北東放射パネル表面温度・室温・PMV



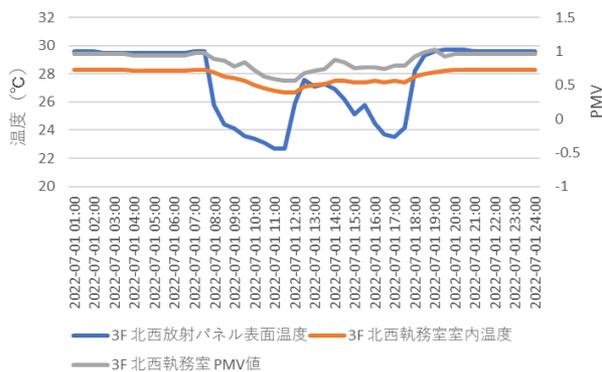
3階中央東放射パネル表面温度・室温・PMV



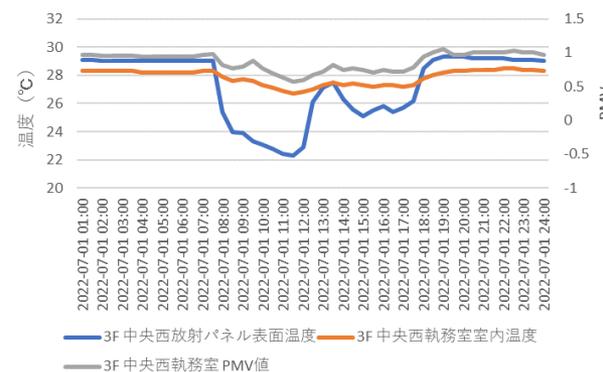
3階南東放射パネル表面温度・室温・PMV



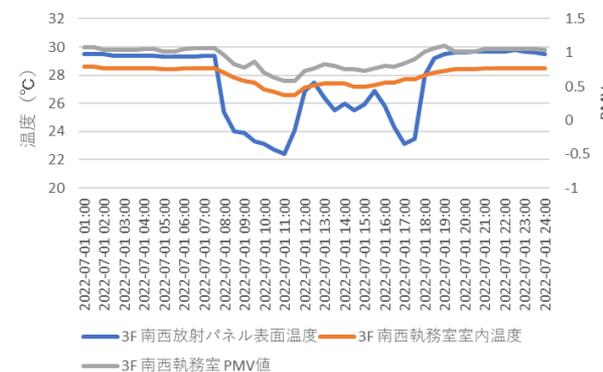
3階北西放射パネル表面温度・室温・PMV



3階中央西放射パネル表面温度・室温・PMV



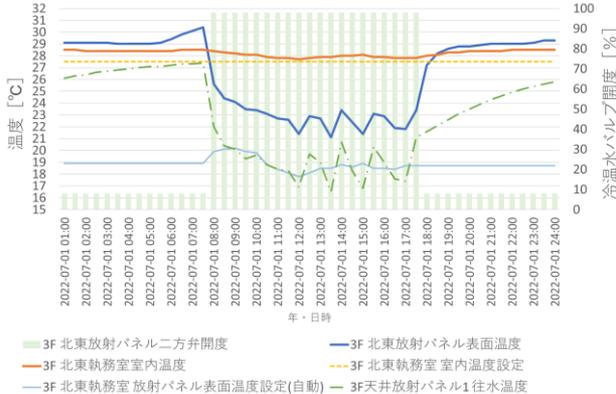
3階南西放射パネル表面温度・室温・PMV



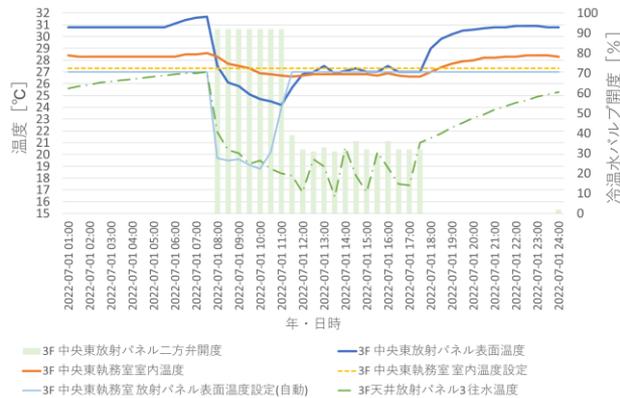
3階冷房時 放射パネル制御状況

2022年7月1日

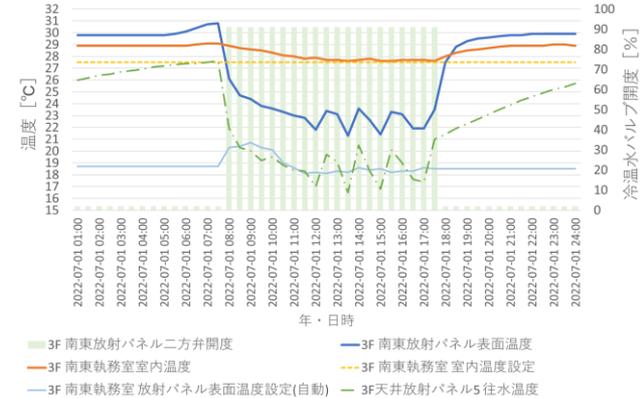
3階北東放射パネル表面温度と設定値（自動設定）の関係



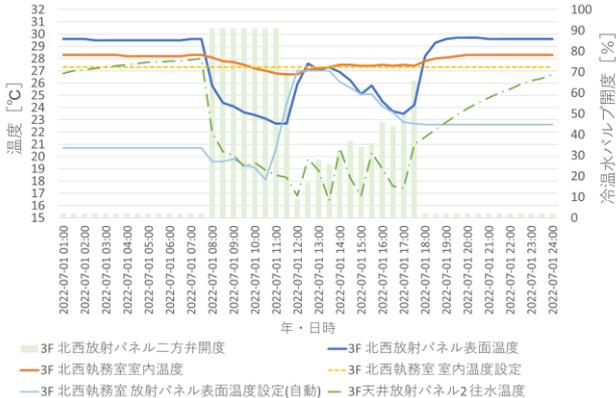
3階中央東放射パネル表面温度と設定値（自動設定）の関係



3階南東放射パネル表面温度と設定値（自動設定）の関係



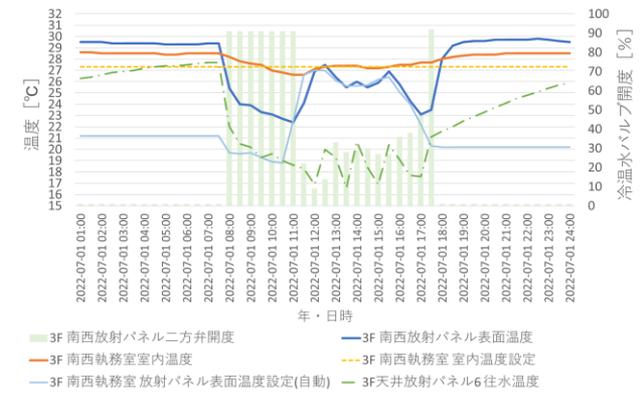
3階北西放射パネル表面温度と設定値（自動設定）の関係



3階中央西放射パネル表面温度と設定値（自動設定）の関係



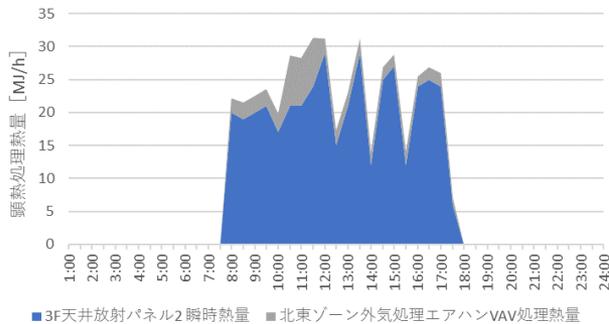
3階南西放射パネル表面温度と設定値（自動設定）の関係



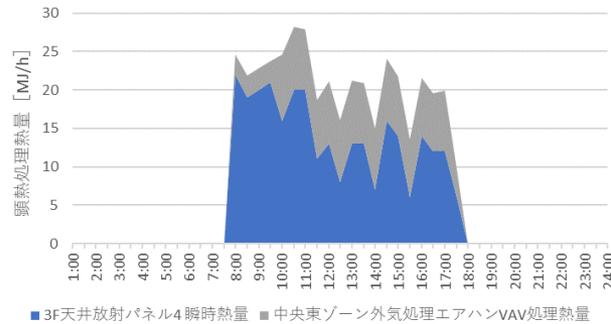
3階冷房時 放射パネルと外調機VAV顕熱処理量

2022年7月1日

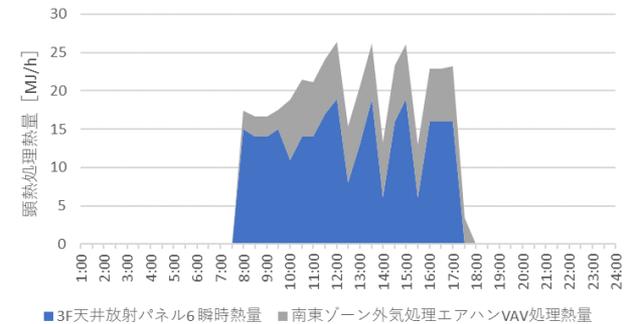
北東ゾーンパネルと外気処理AHU系VAVの顕熱処理量



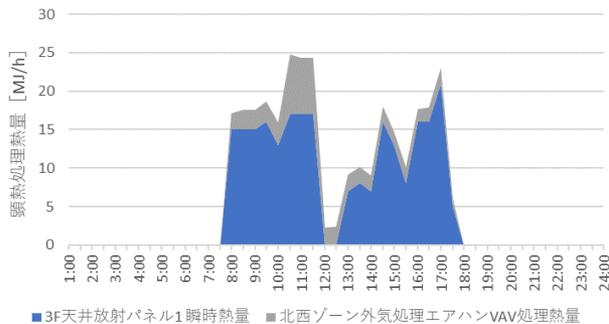
中央東ゾーンパネルと外気処理AHU系VAVの顕熱処理量



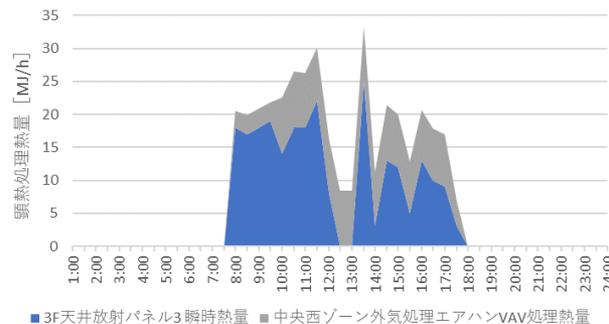
南東ゾーンパネルと外気処理AHU系VAVの顕熱処理量



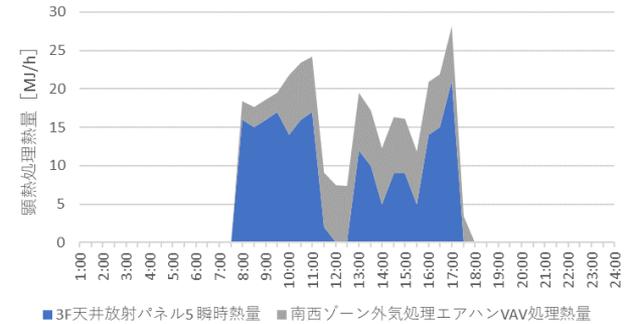
北西ゾーンパネルと外気処理AHU系VAVの顕熱処理量



中央西ゾーンパネルと外気処理AHU系VAVの顕熱処理量



南西ゾーンパネルと外気処理AHU系VAVの顕熱処理量



3階 ゾーン別顕熱処理量 (パネル+VAV)

3階執務室エリア 冷房ピーク時 2022年7月1日

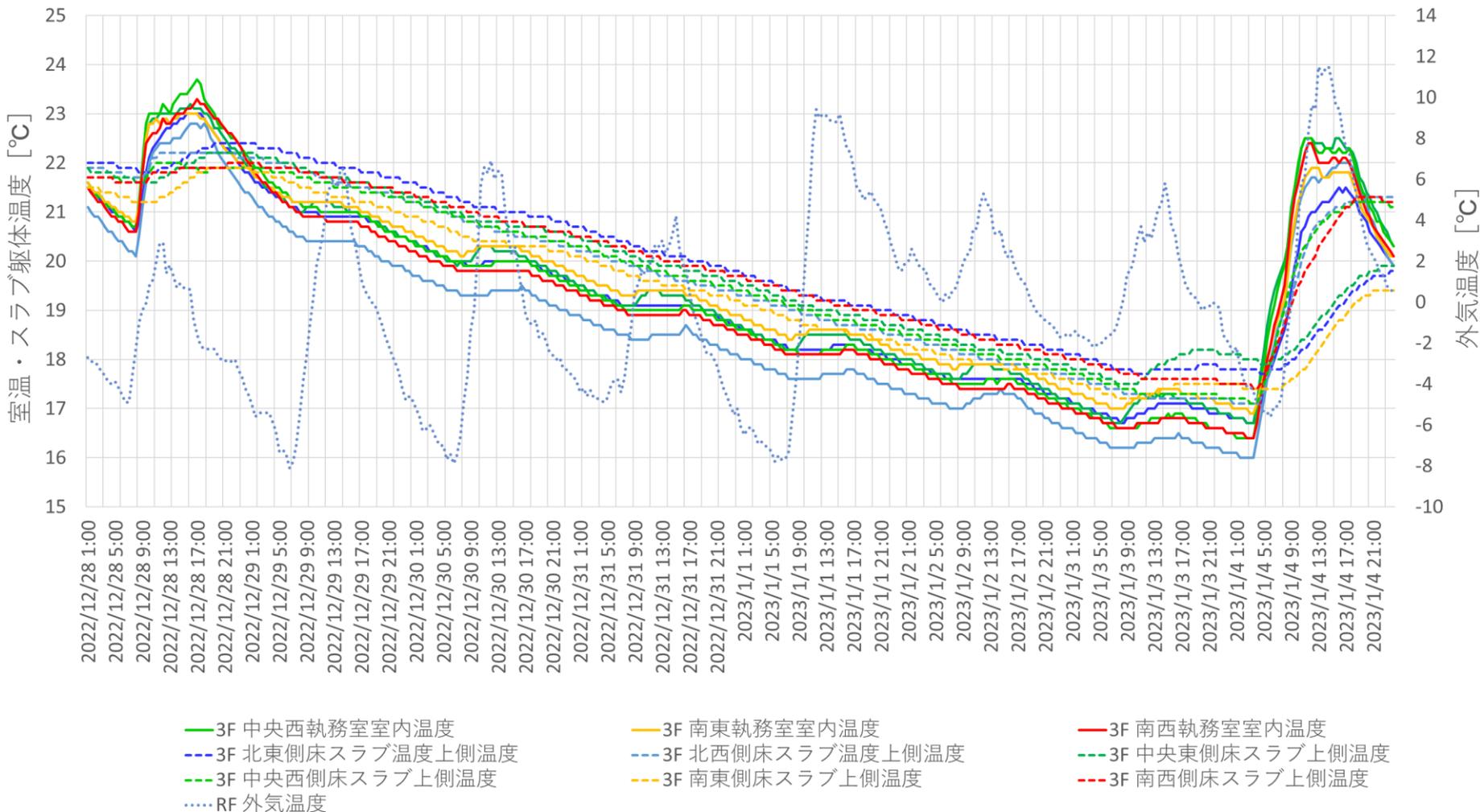
| ゾーン名称 | 床面積 (m ²) | 放射パネル 処理熱量 (MJ/h) | 外気処理エア ハンVAV処理熱 量 (MJ/h) | 合計熱量 (MJ/h) | 床面積あたり放射 パネル処理熱量 (w/m ² ・h) |
|-------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|--|
| 北東 | 153 | 29.0 | 2.217 | 31.217 | 52.7 |
| 中央東 | 160 | 16.0 | 8.55 | 24.55 | 27.8 |
| 南東 | 146 | 17.0 | 7.06 | 24.06 | 32.4 |
| 北西 | 153 | 17.0 | 7.75 | 27.75 | 30.9 |
| 中央西 | 160 | 25.0 | 8.22 | 33.22 | 43.4 |
| 南西 | 146 | 21.0 | 7.16 | 28.16 | 40.0 |

※室温設定：冷房27.5°C、暖房22.0°C

※1MJ = 278W/MJ

正月休み前後のスラブ躯体温度の変化と室温変化

3階各ゾーンの室温と床躯体温度の変化



おわりに

今後の予定

- サステナブル建築物等先導事業（省CO₂先導型）採択プロジェクト 施設全体のエネルギー使用量、補助対象である水冷媒天井放射空調システムのエネルギー使用量とCO₂削減量の成果についての報告
- 冷房期及び暖房期のPMV測定を行って、BEMSデータとの比較を行う。
- 窓ガラス、外壁面の表面温度の実測を行う。
- 地中熱ヒートポンプチラーの圧縮機運転停止温度/運転再開温度を見直し送水温度のばらつきを抑える。

ご清聴ありがとうございました

