

# 自然対流促進型放射パネルの概要と シンガポールの研究開発オフィスへの設置事例

---

第9回 一般社団法人 放射・輻射冷暖房協議会 セミナー

「放射・輻射冷暖房を取り巻く環境変化と導入事例」

2025年 3月 19日

鹿島建設株式会社 建築設計本部 設備設計統括グループ

チーフエンジニア 八木 崇

# 目次

- 1 自然対流促進型放射パネルの開発
- 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

# 1

## 自然対流促進型放射パネルの開発



# 放射空調のメリット、放射空調への期待の高まり

## 放射空調のメリット

省エネ性

×

快適性

水搬送による搬送動力の低減

ドラフトレスな室内環境

中温冷水利用による熱源COPの向上

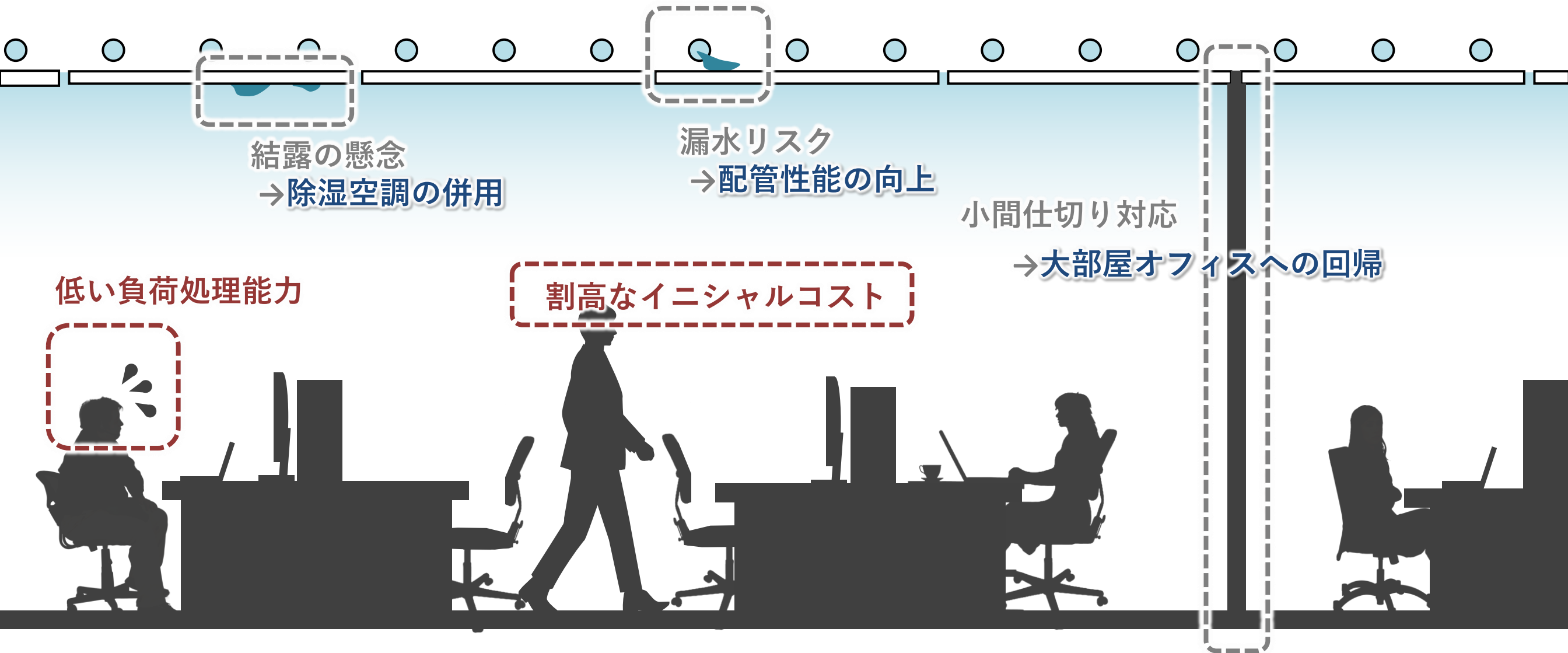
社会的な要請としてのクールビズ、健康・ウェルネスへの志向

といった背景から

**放射空調への期待が高まっている**

# 現状の課題と普及促進のポイント

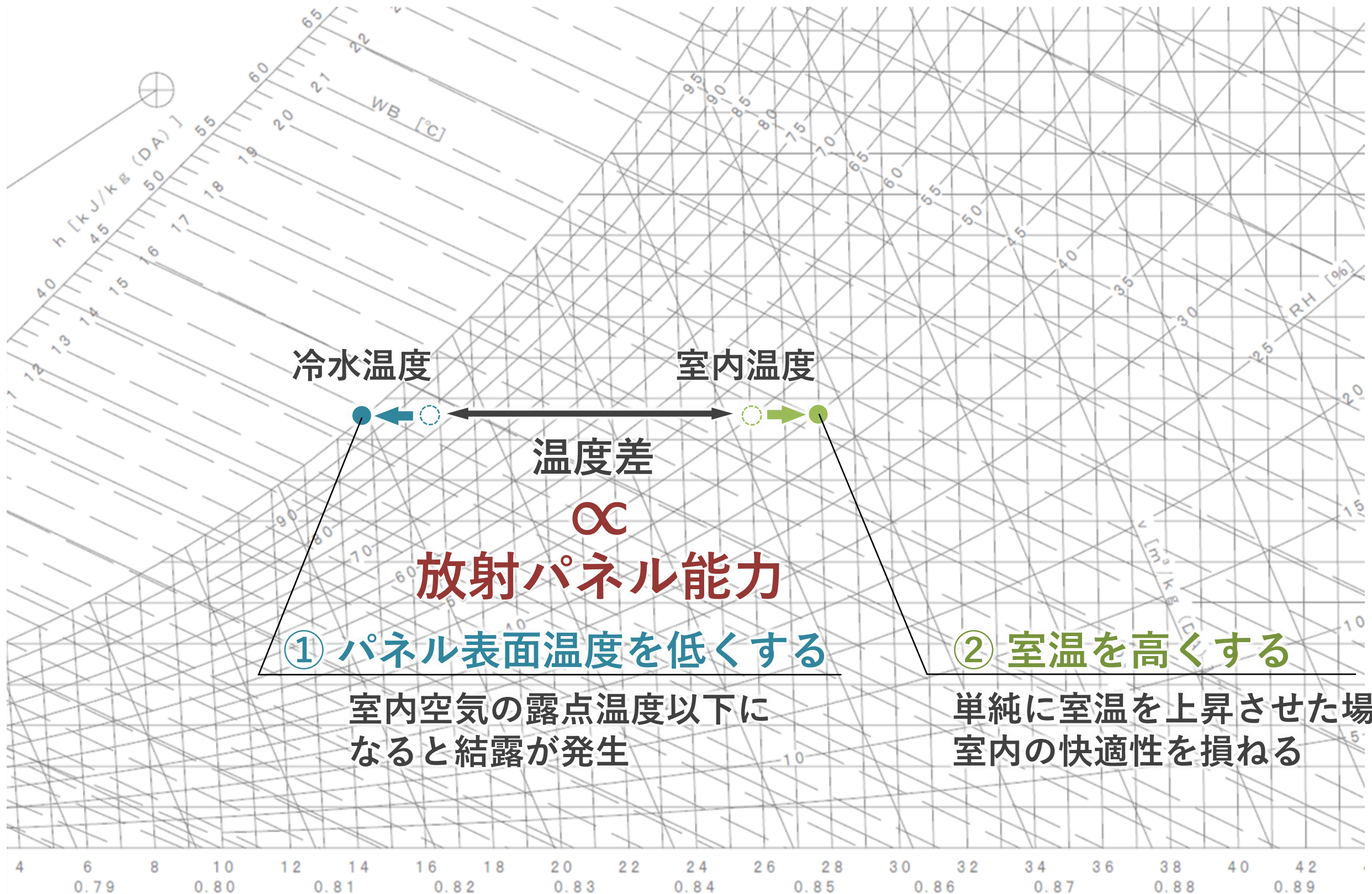
しかし現状は、広く普及しているとは言い難い



現状の大きな課題は、**低い負荷処理能力**と**割高なイニシャルコスト**

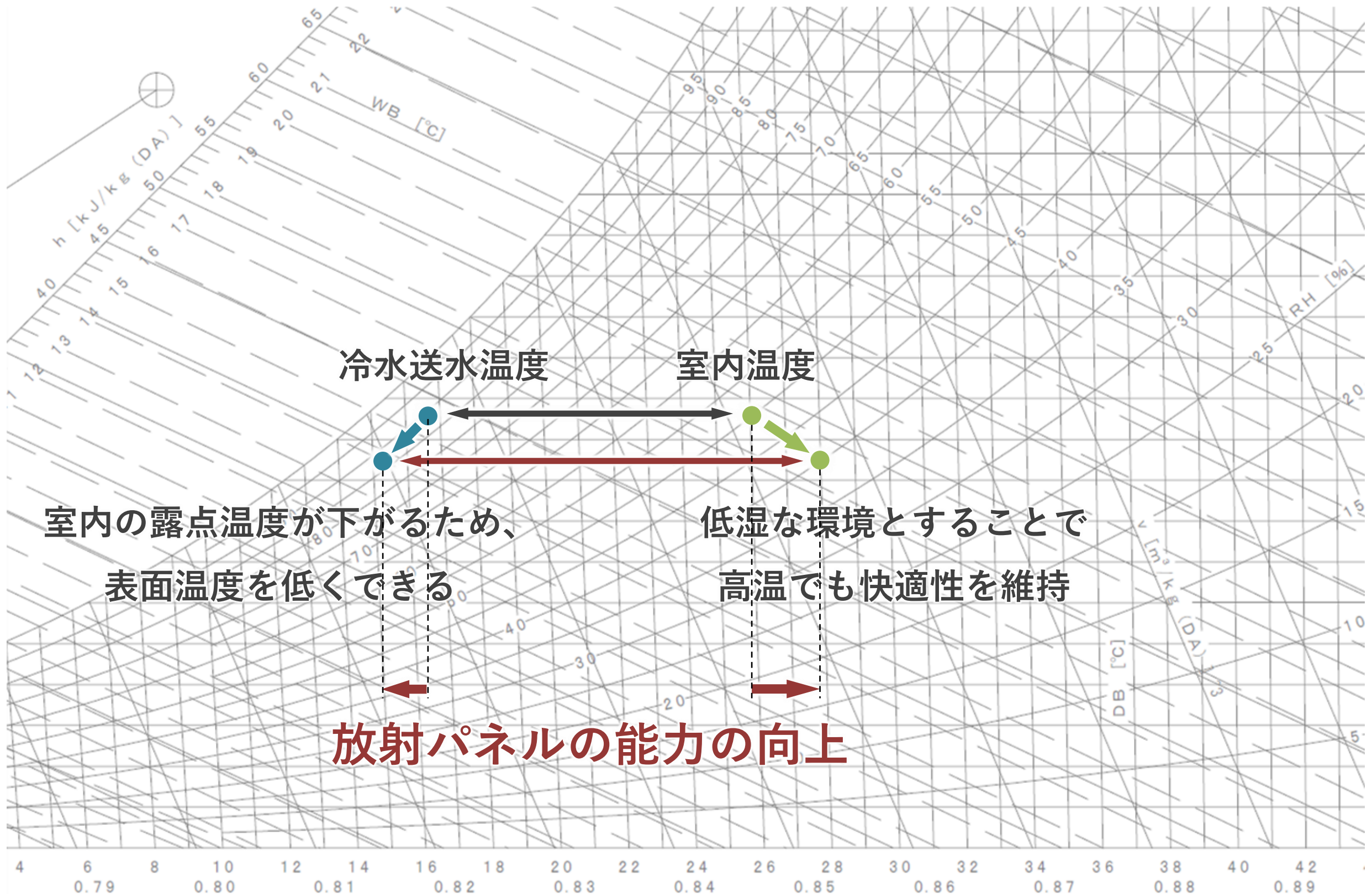
天井放射パネルの普及のため、**高性能で低コストな放射パネルの開発**

# 放射パネルの負荷処理能力向上



1) 石井ら：環境試験室実験における天井放射パネル熱性能の把握, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.57-60, 2025.9

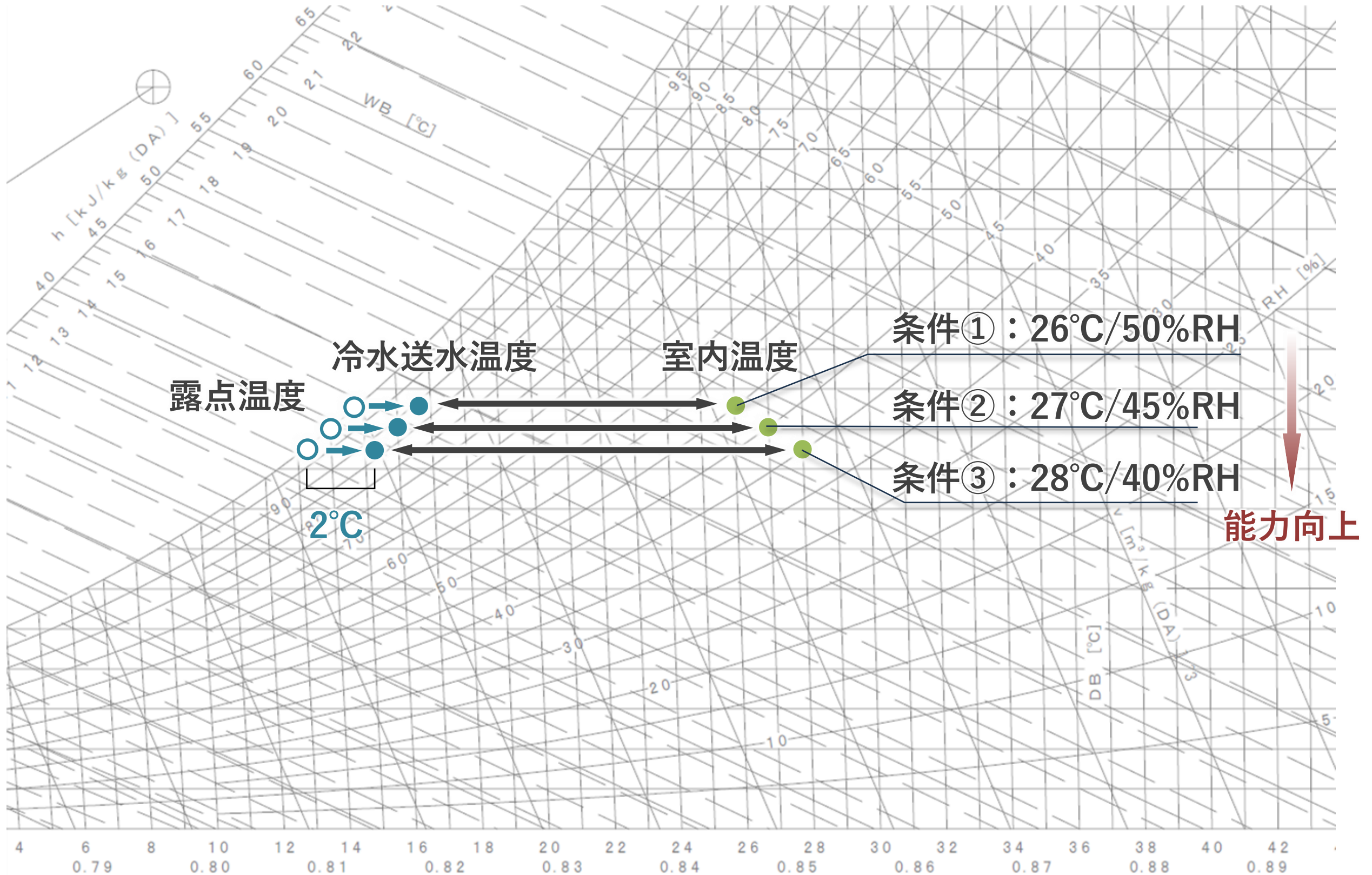
# 放射パネルの負荷処理能力向上



1) 石井ら：環境試験室実験における天井放射パネル熱性能の把握, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.57-60, 2025.9

1 自然対流促進型放射パネルの開発

# 放射パネルの負荷処理能力向上



1) 石井ら：環境試験室実験における天井放射パネル熱性能の把握, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.57-60, 2025.9

# 室内温湿度と放射パネルの冷却能力

高温低湿な環境とすることで、いずれの条件においてもPMVは±0.5の範囲内

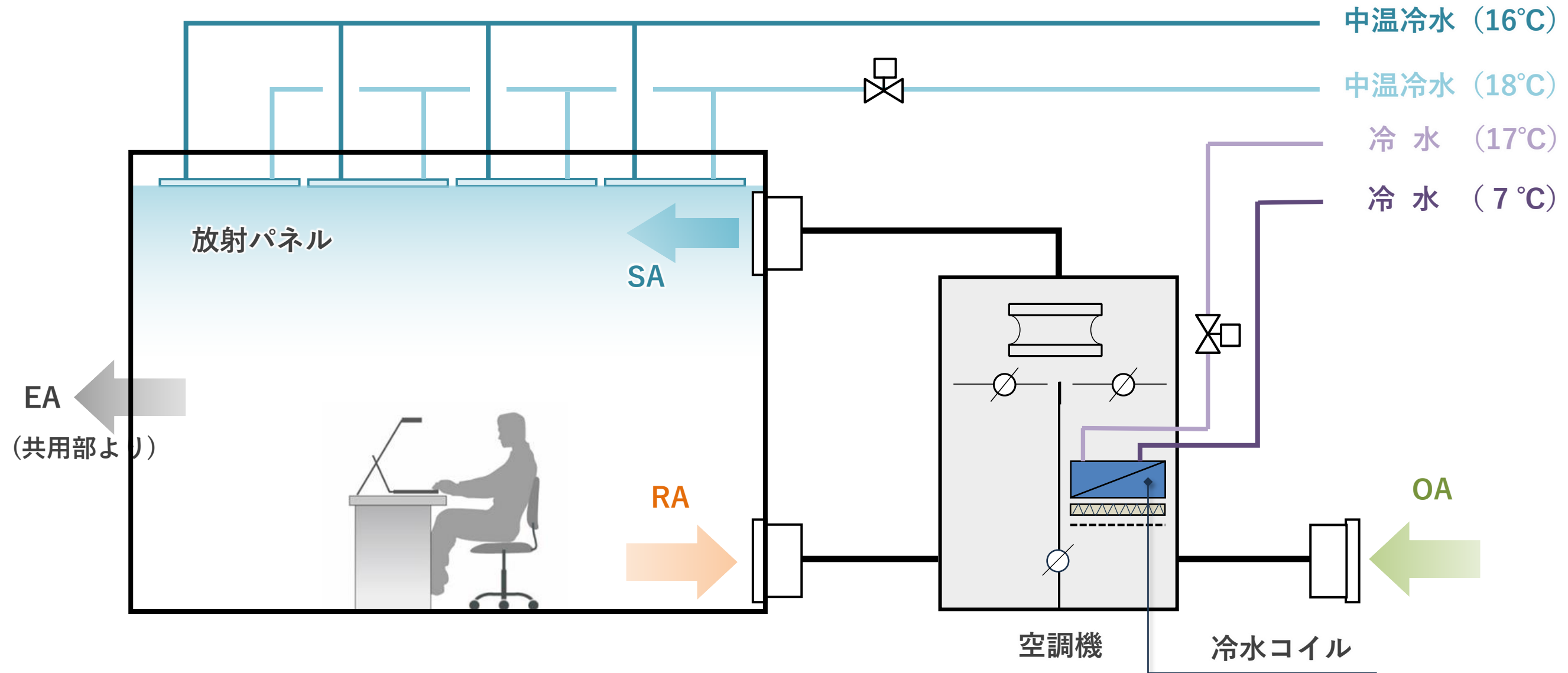
		条件①	条件②	条件③
乾球温度	[°C]	26.0	27.0	28.0
相対湿度	[%]	50	45	40
露点温度	[°C]	14.8	14.1	13.2
PMV	[-]	-0.14	+0.16	+0.46
SET*	[°C]	25.03	25.87	26.65
冷水送水往温度	[°C]	16.8	16.1	15.2
冷水送水還温度	[°C]	18.8	18.1	17.2
平均冷却温度差	[°C]	8.20	9.90	11.80
冷却能力	[W/m <sup>2</sup> (パネル)]	63	77	93

約20%の能力アップ

▲  
基準温湿度条件

ビル管法の室温上限(28°C)と空調の制御幅を考慮

# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 空気処理側のシステム

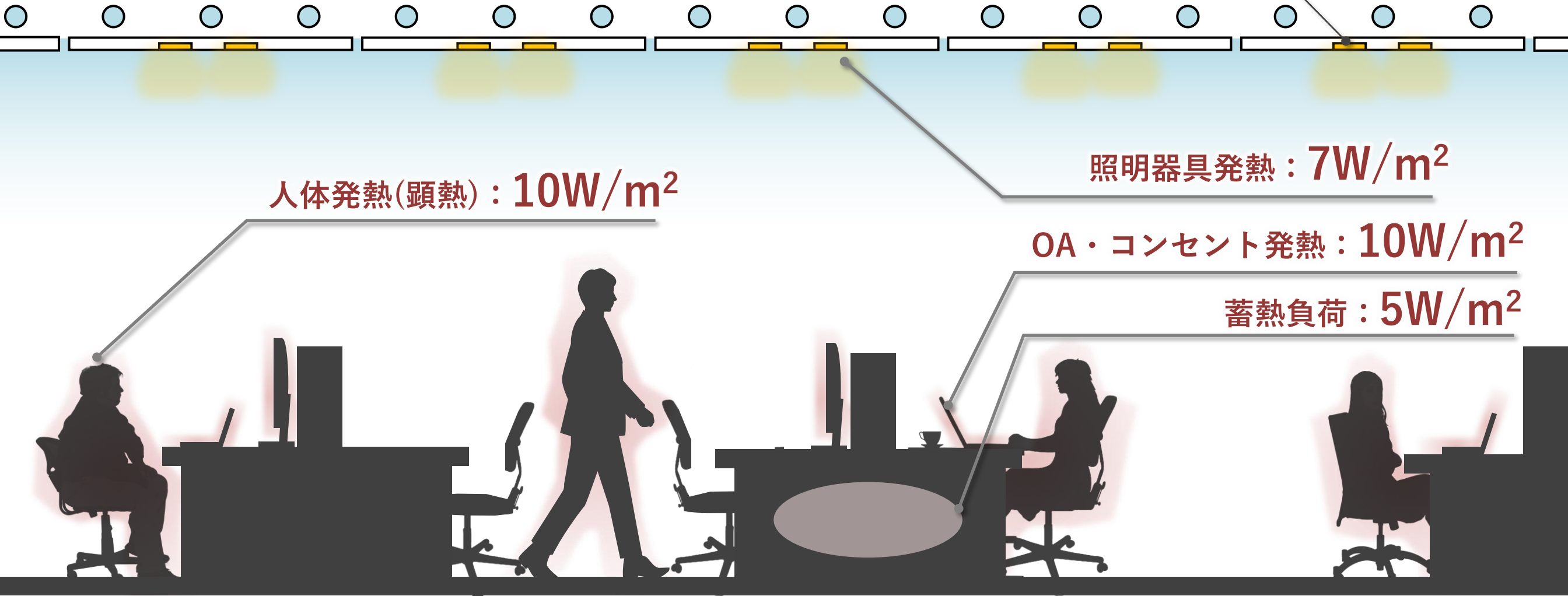


温度制御と湿度制御を両立する必要があるため、  
空気処理側は**コイルバイパス空調システム**を採用

# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 放射パネルの目標能力

放射パネルの敷設率：30%

(天井面には照明器具、防災設備、空調吹出口などが設置されるため一般的に30%程度となる)



照明器具発熱：7W/m<sup>2</sup>

OA・コンセント発熱：10W/m<sup>2</sup>

蓄熱負荷：5W/m<sup>2</sup>

人体発熱(顕熱)：10W/m<sup>2</sup>

室内のベース負荷：32W/m<sup>2</sup>

放射パネル敷設率：30%

= 放射パネルの目標能力：約110W/m<sup>2</sup>

⇒ 約33W/m<sup>2</sup>の能力アップが必要

# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 開発コンセプトの検討

## ① 直接放射

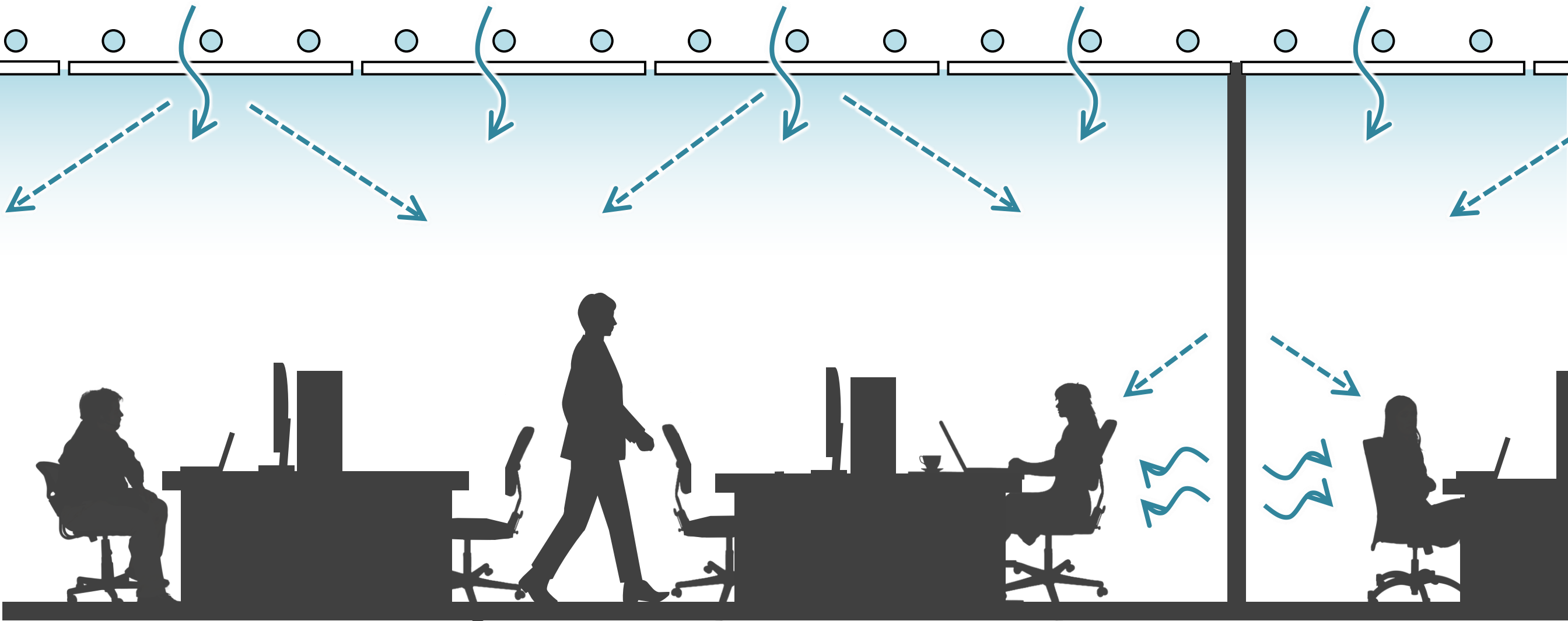
パネル敷設率や結露リスク等の  
制約から能力増の余地は小さい

## ② 間接放射・間接対流

間接放射・間接対流は内装仕様や  
空間形状による影響が大きい

## ③ 直接対流

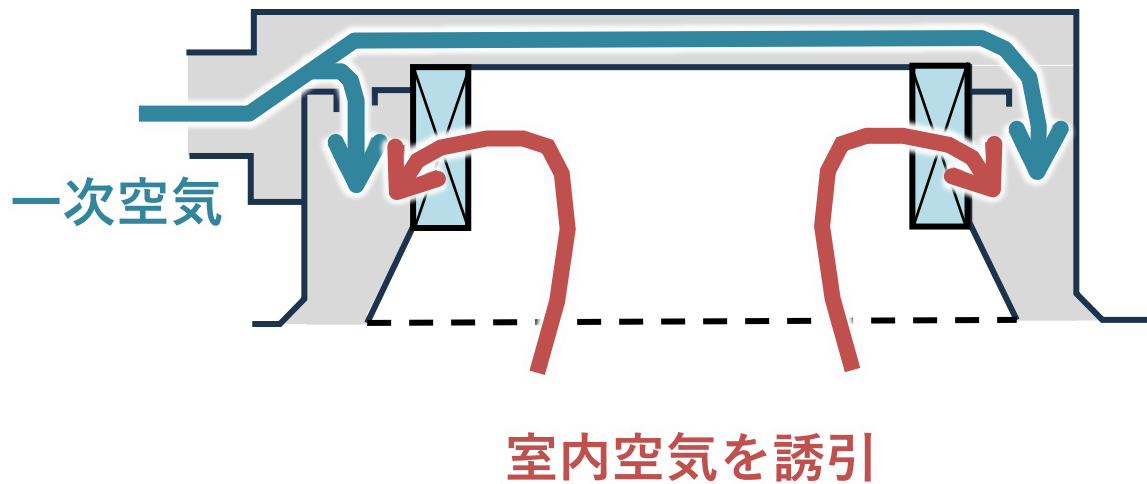
パネルと室内空気との接触面積を  
増やすことで能力増が可能



# 開発コンセプトの検討 | チルドビーム

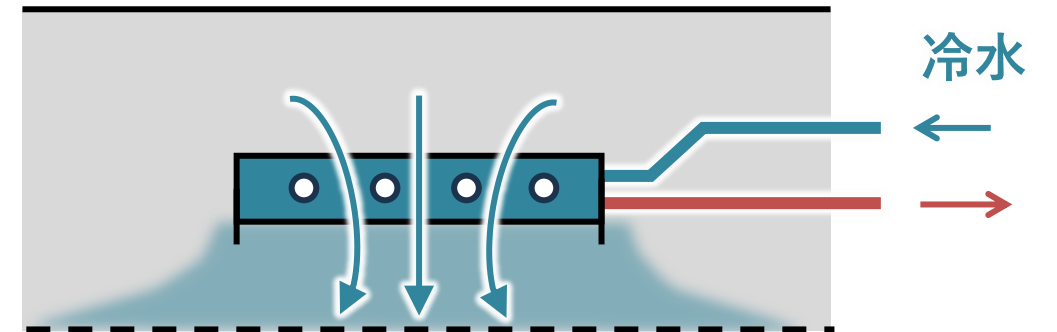
## アクティブチルドビーム

一次空気がパネル表面を通過する際に生じた誘引空気がパネル表面と接触することで直接対流を生み出す



## パッシブチルドビーム

配管に冷水を流すことで天井内空気を冷却し、天井パネルの開口部を通じて自然対流を発生させる

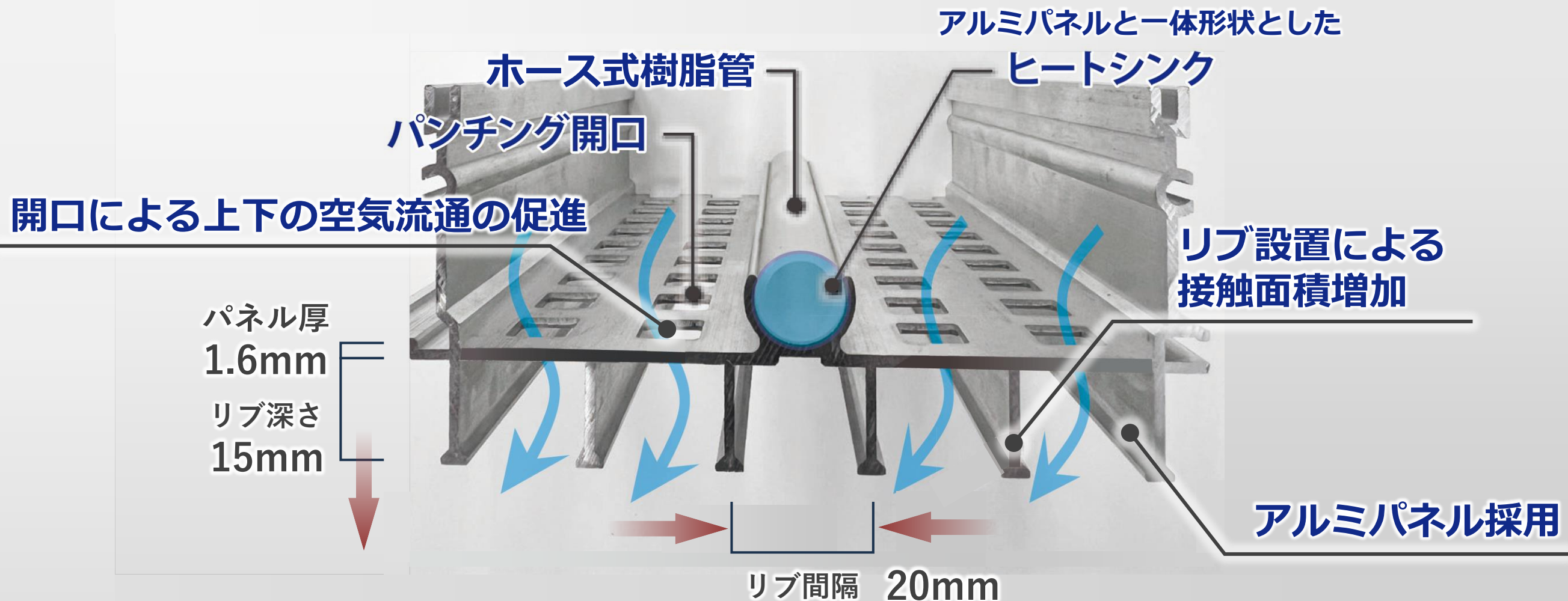


自然対流によるダウンドラフトが発生するため作業エリアの直上は避ける必要がある

パネル形状が複雑化するため、重量が大きくなる上に製造コストが割高に

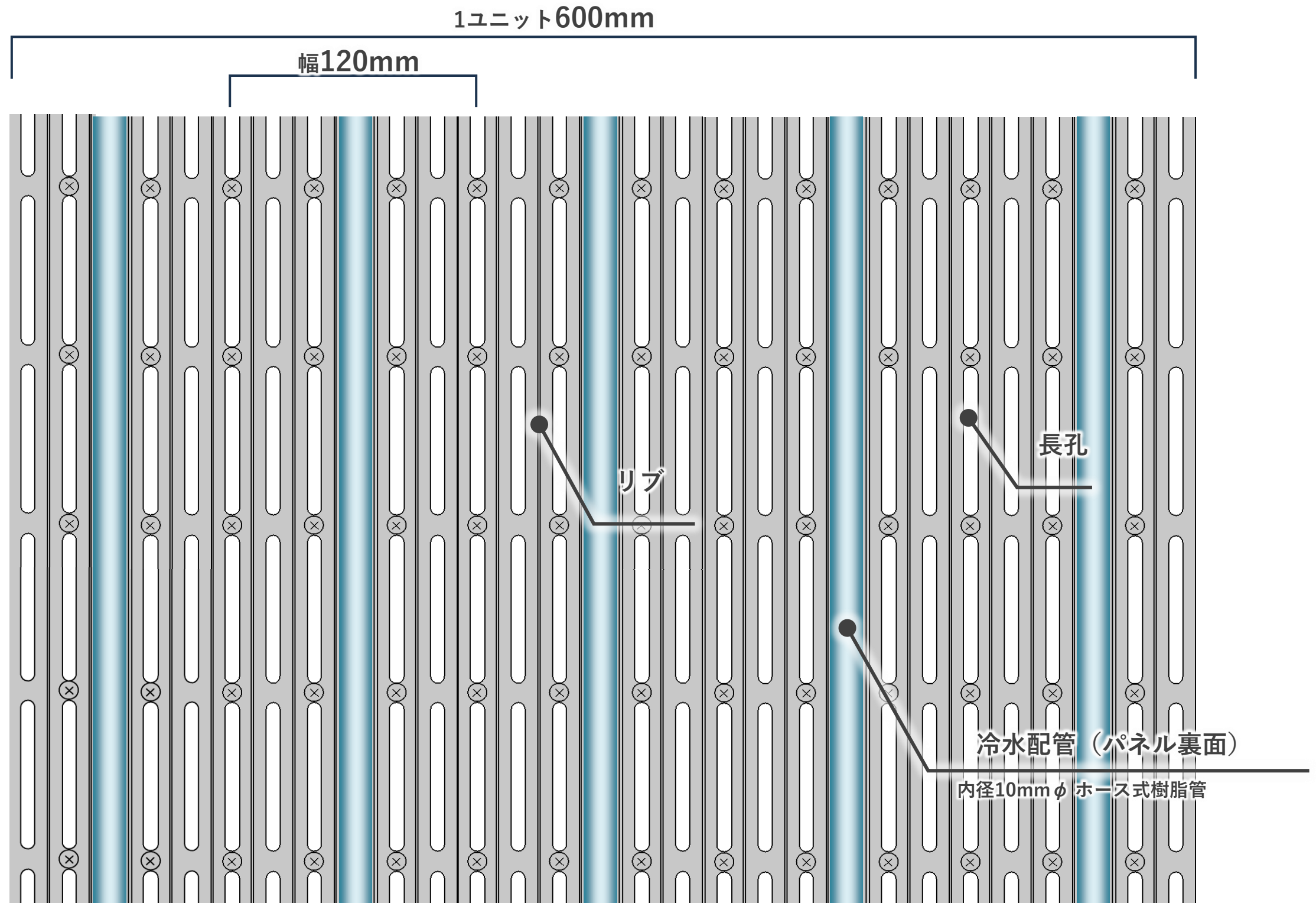
# 自然対流促進型放射パネルのコンセプト

パッシブチルドビームに近いものとしシンプルで製造しやすい機構で  
軽量かつコストコンシャスにすることを旨とした



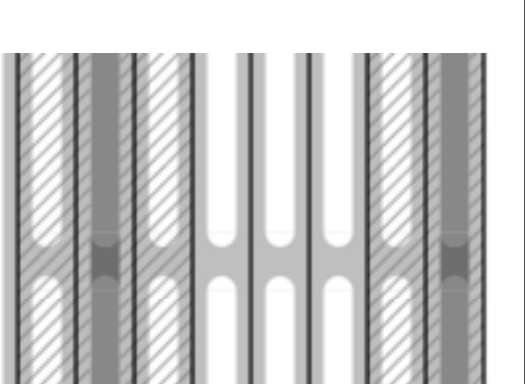

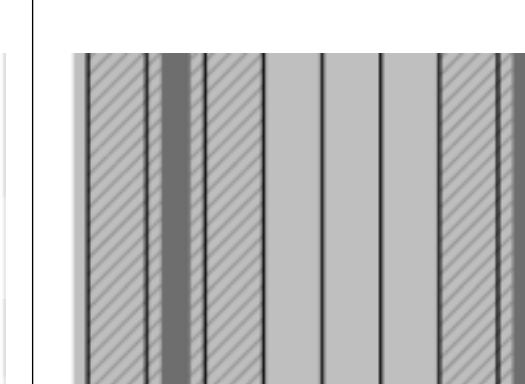

リブの**間隔を密にして奥行を深く**するほど自然対流の効果が大きくなるが、  
その分必要鋼材量が増える

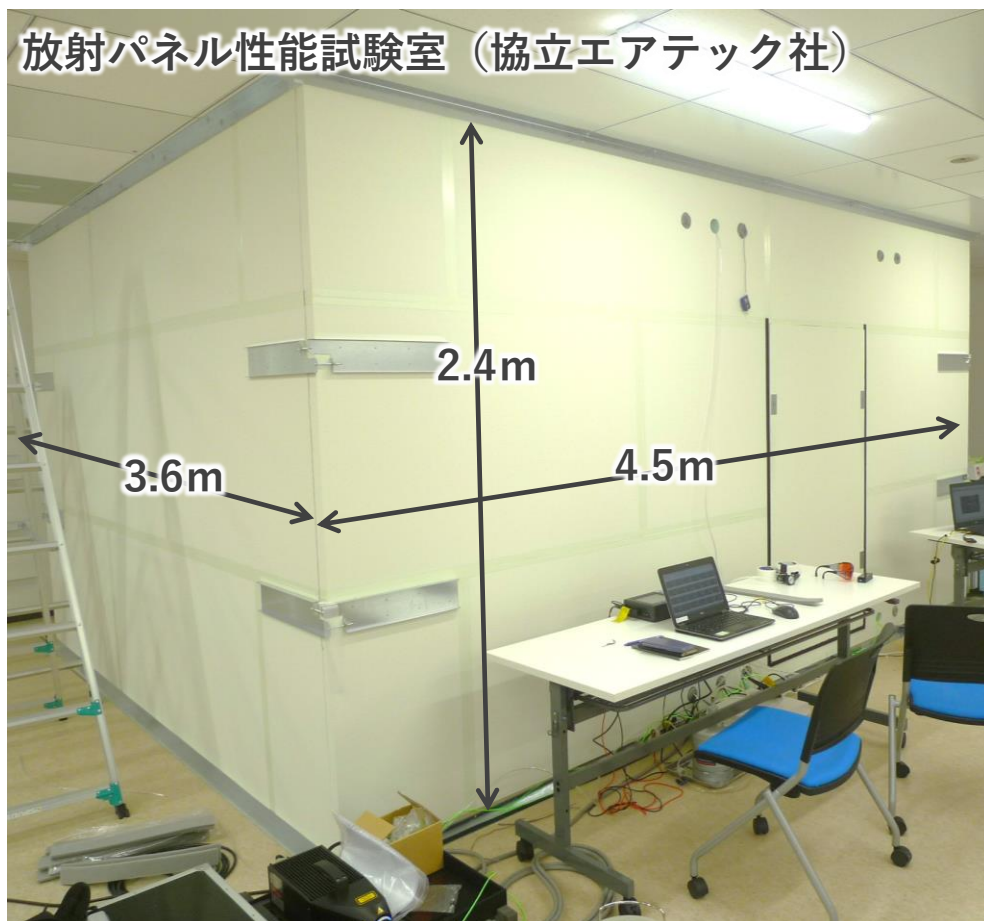
# 自然対流促進型放射パネルの基本設計案



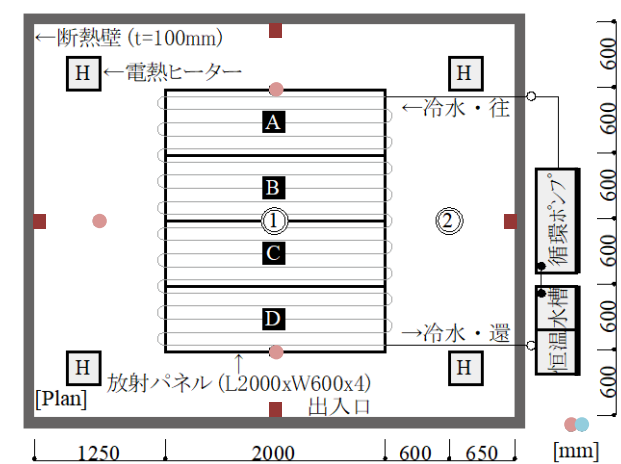
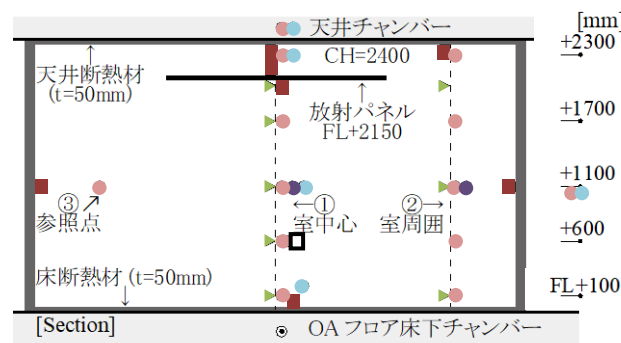
# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 比較試験概要

## 4種類の放射パネルを試作し、比較試験を実施

	有孔・リブ付	有孔・リブ無	無孔・リブ付	無孔・リブ無
平面				

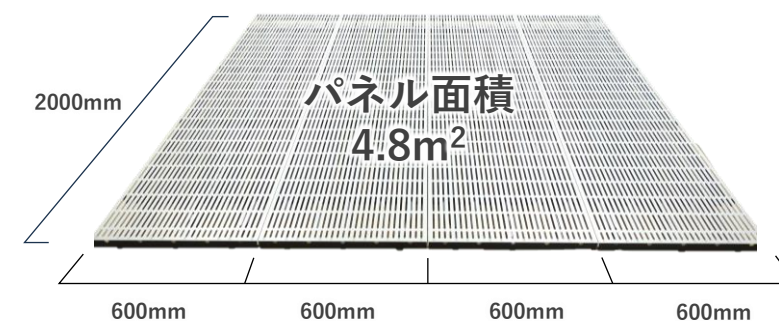


計測点

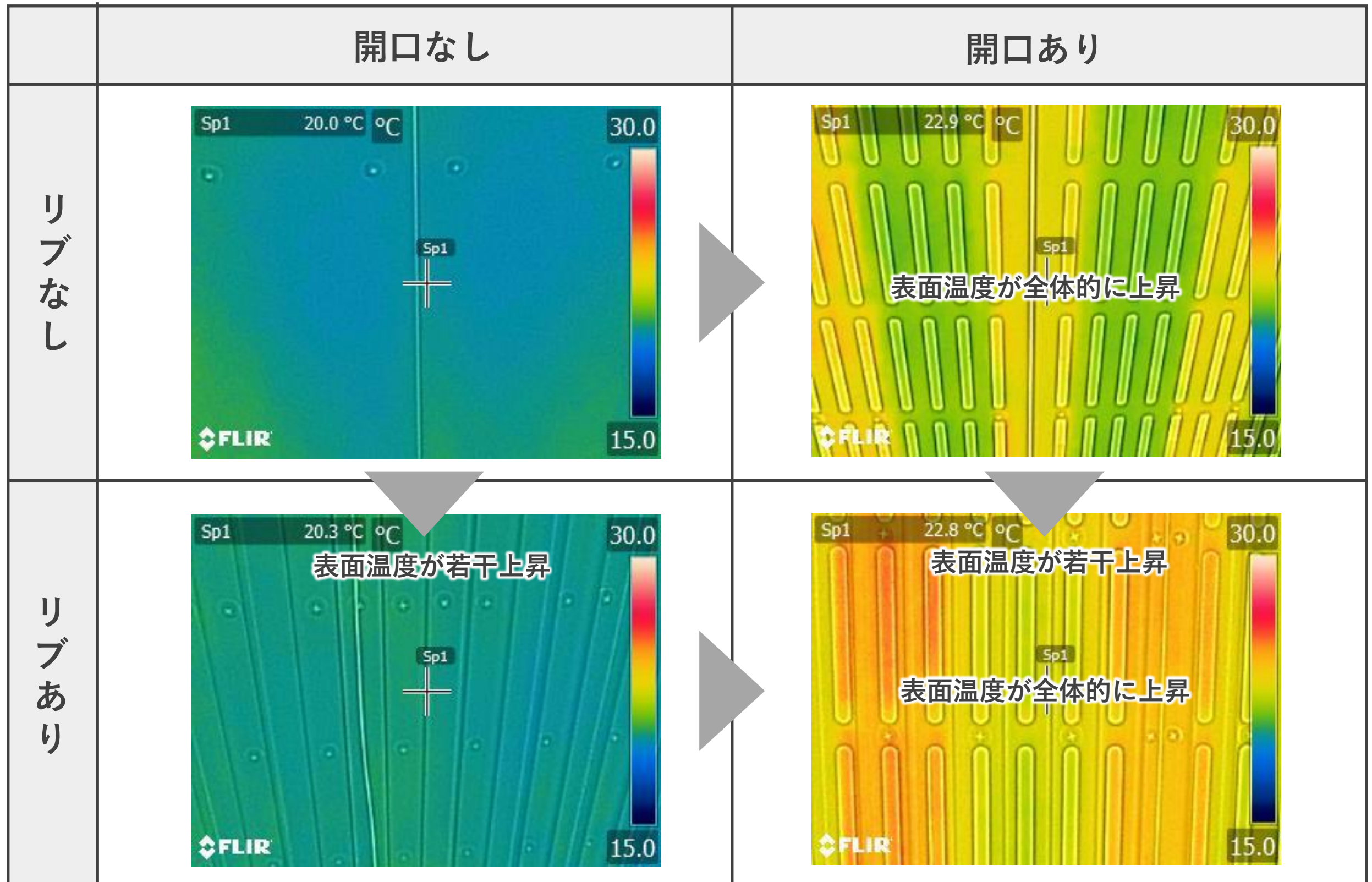


- 乾球温度 [°C]
- 表面温度 [°C]
- グローブ温度 [°C]
- 相対湿度 [%RH]
- 気流速度 [m/s]
- PMV [-]

試験体

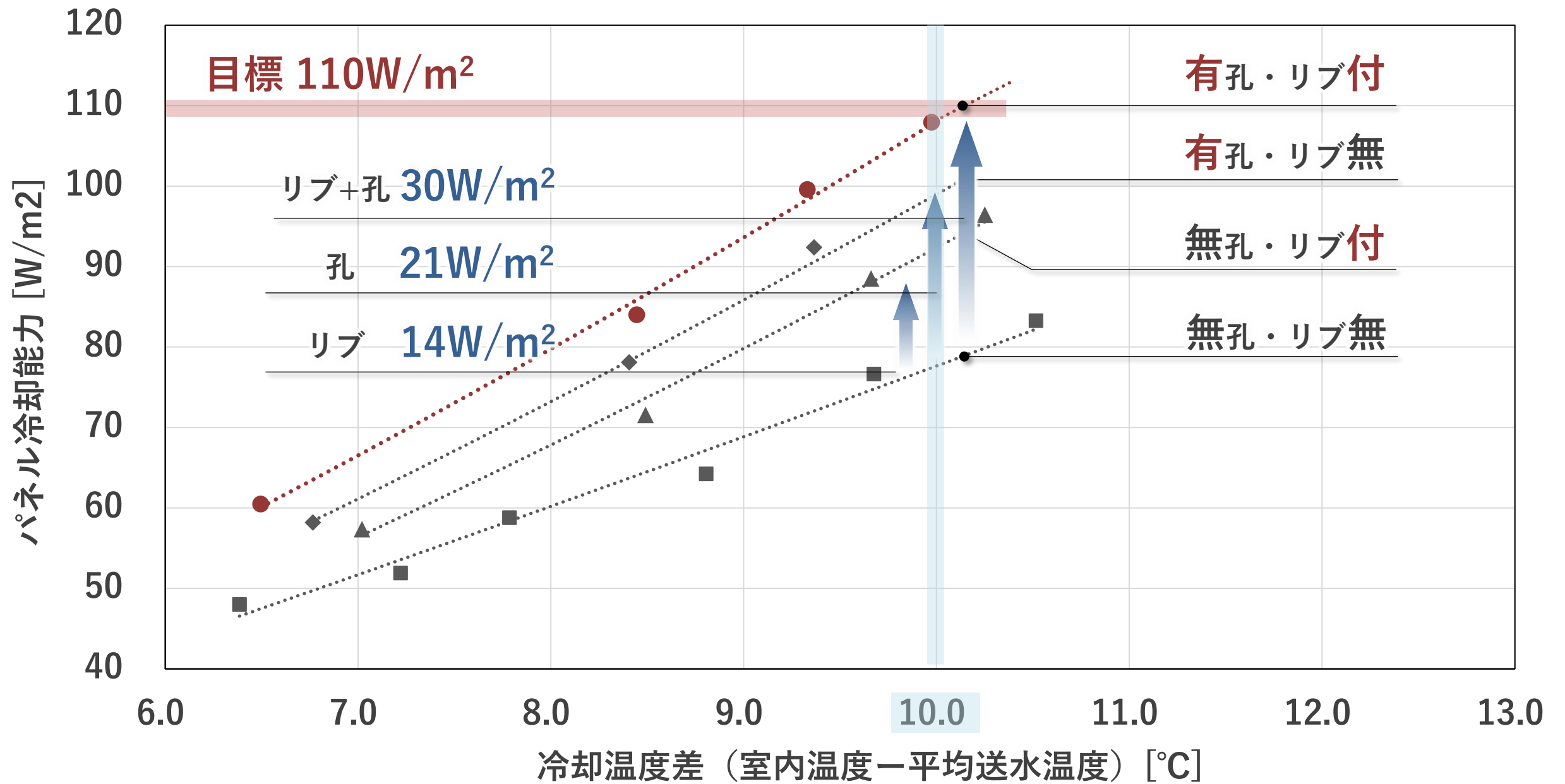


# サーモ画像の比較

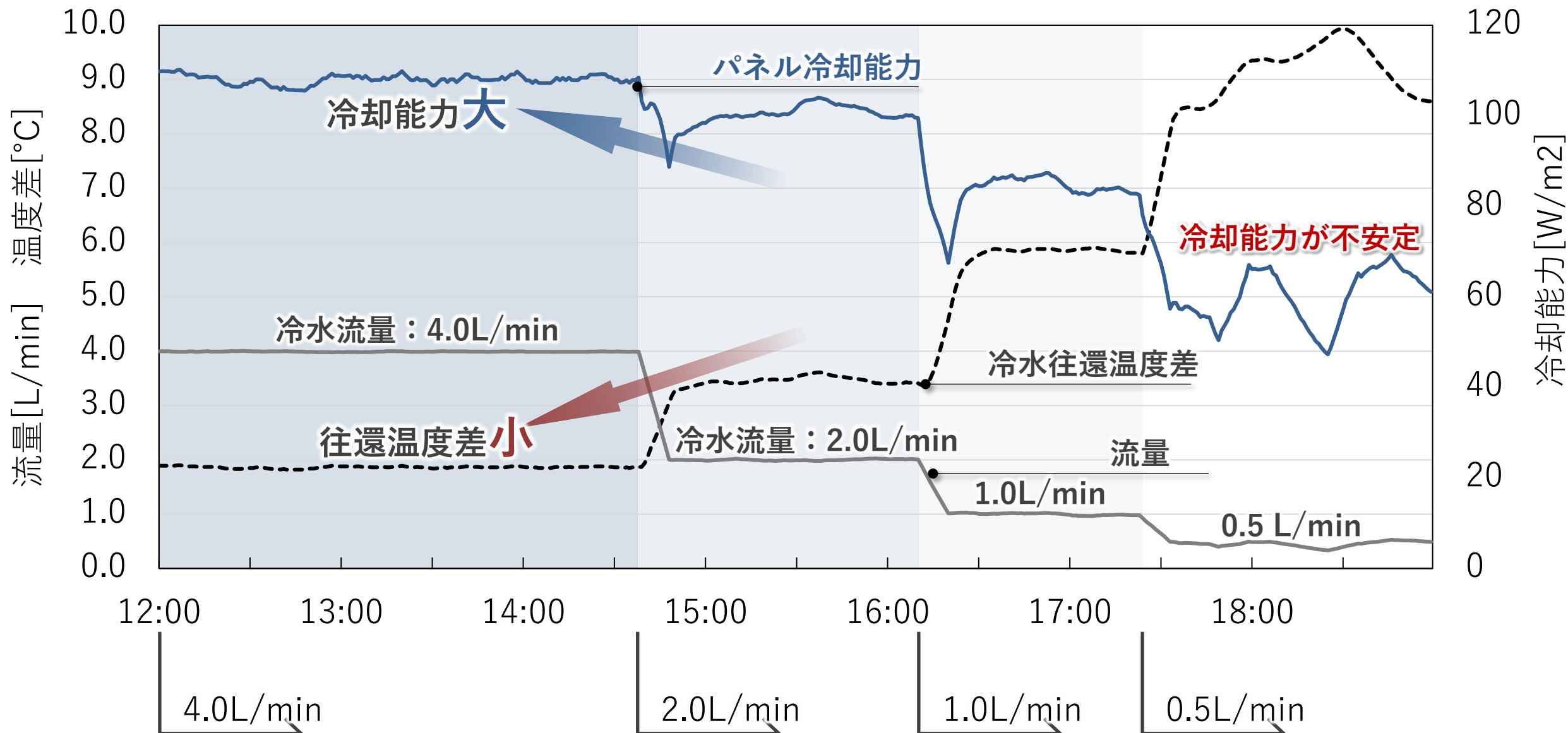


注) 冷水流量2.0L/minにおける冷却パネルの表面温度分布

# パネル冷却能力



# 冷水流量の違いによる冷却能力、往還温度差 (室温27°C、有孔・リブ付)



# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 開口形状の変更による性能向上

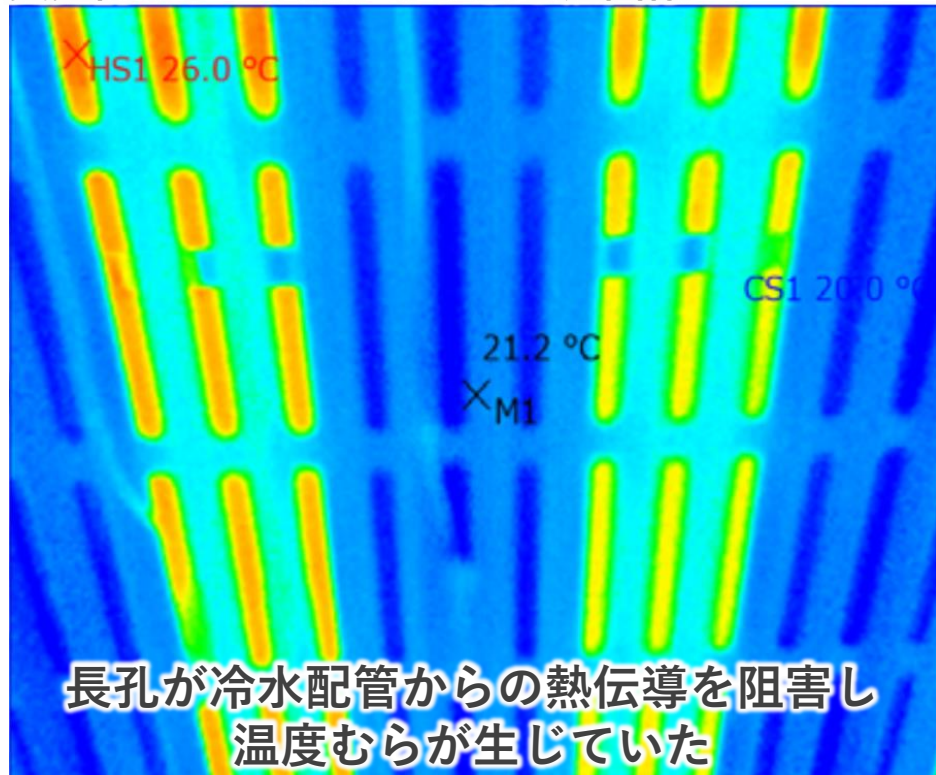
変更前の放射パネル（長孔形状）



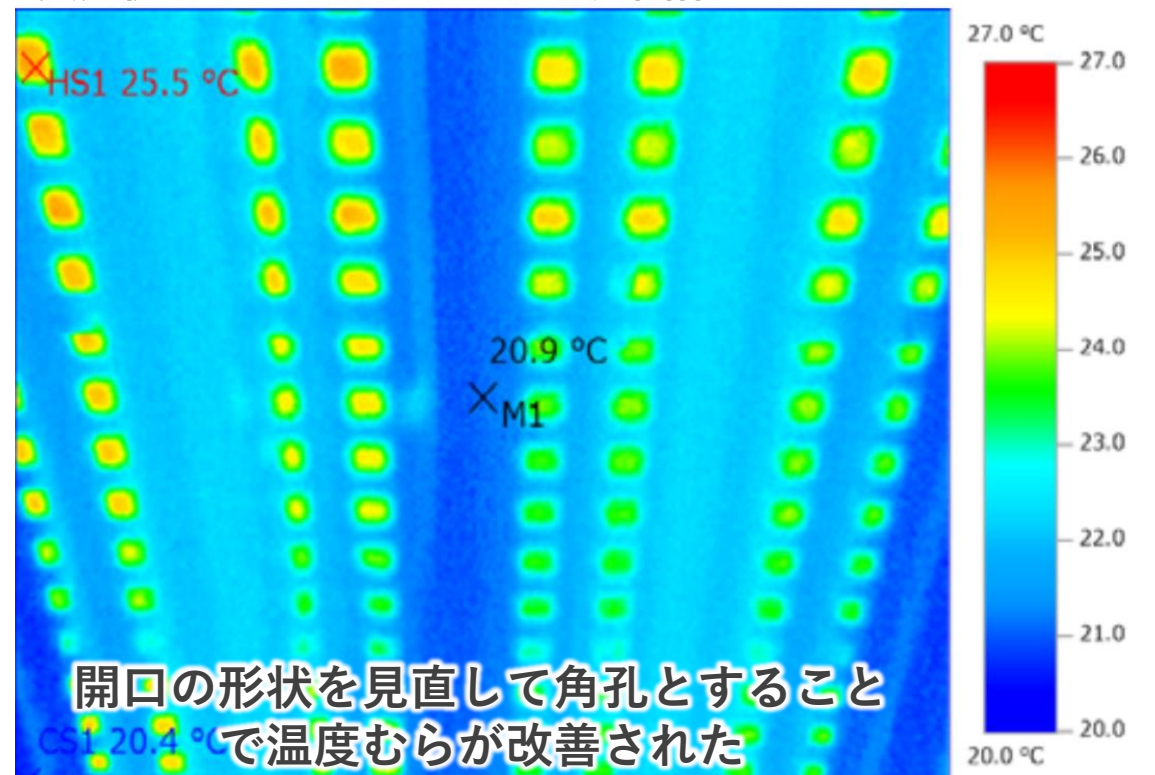
変更後の放射パネル（角孔形状）



変更前のサーモカメラによる熱画像

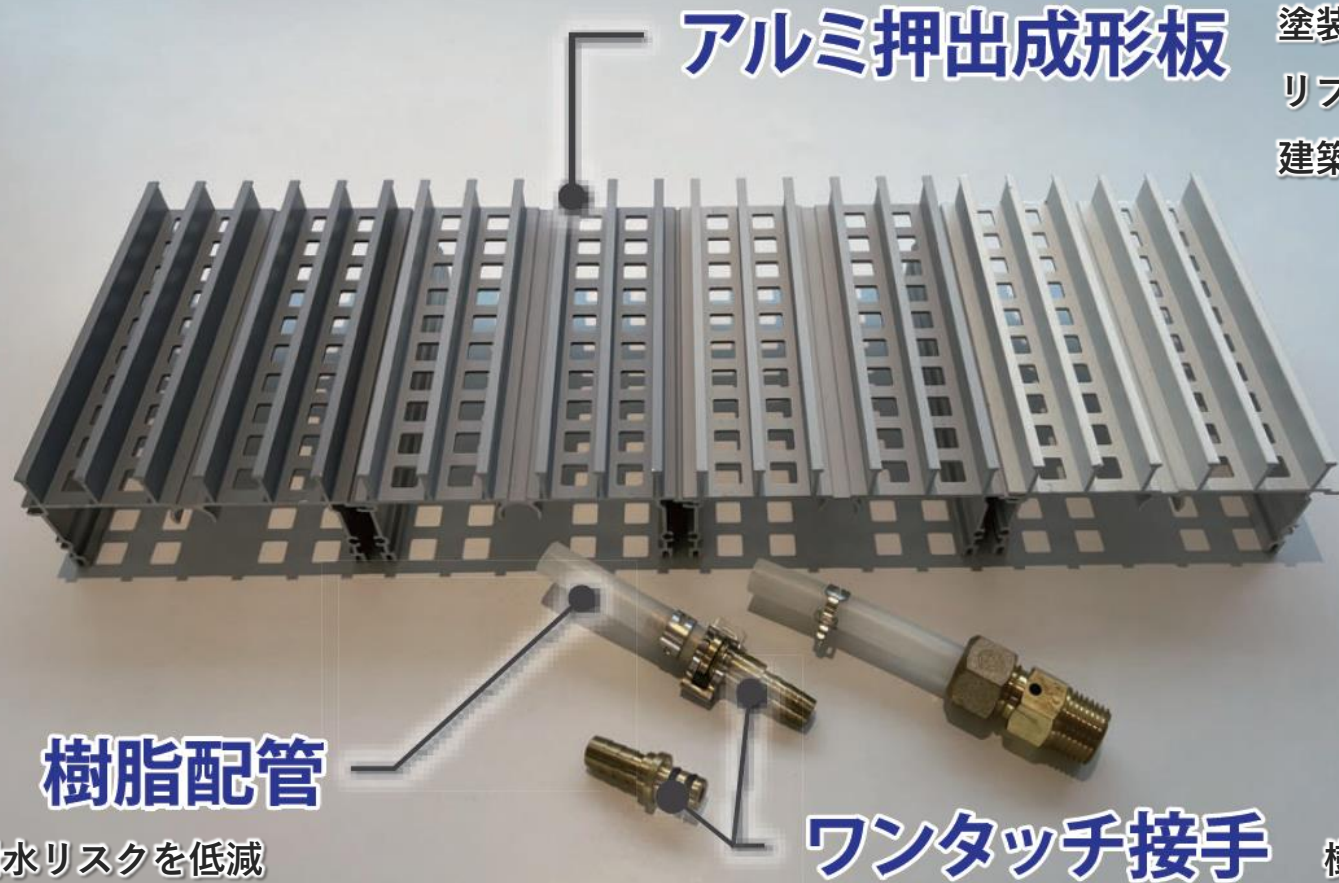


変更後のサーモカメラによる熱画像



# 1 高性能天井放射パネルの開発

## 自然対流促進型放射パネルの構造部材



### アルミ押出成形板

塗装色を自由に選択でき、  
リブと開口が多彩な表情を演出  
建築デザインにも受け込みやすい

### 樹脂配管

樹脂配管は腐食・漏水リスクを低減  
重量が軽く、曲げにも対応でき天井内での施工が容易

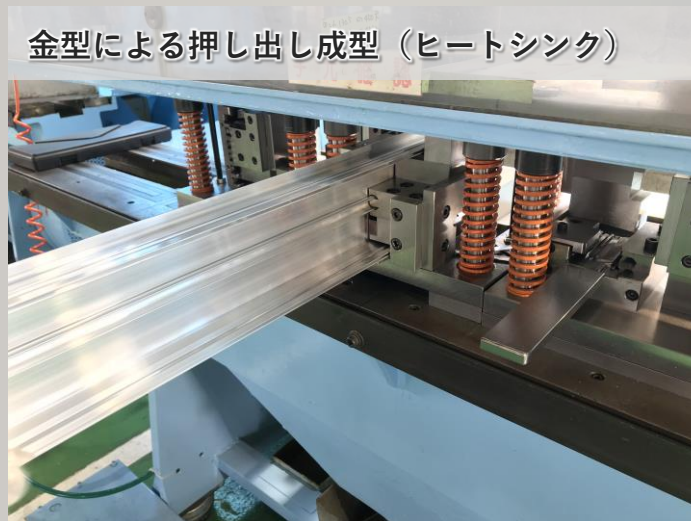
### ワンタッチ接手

樹脂製配管とワンタッチ接手で接続し、  
施工が容易で、確実な接続が可能

### パネル製造工程



金型による押し出し成型（室内側）



金型による押し出し成型（ヒートシンク）



パンチャーでの開口



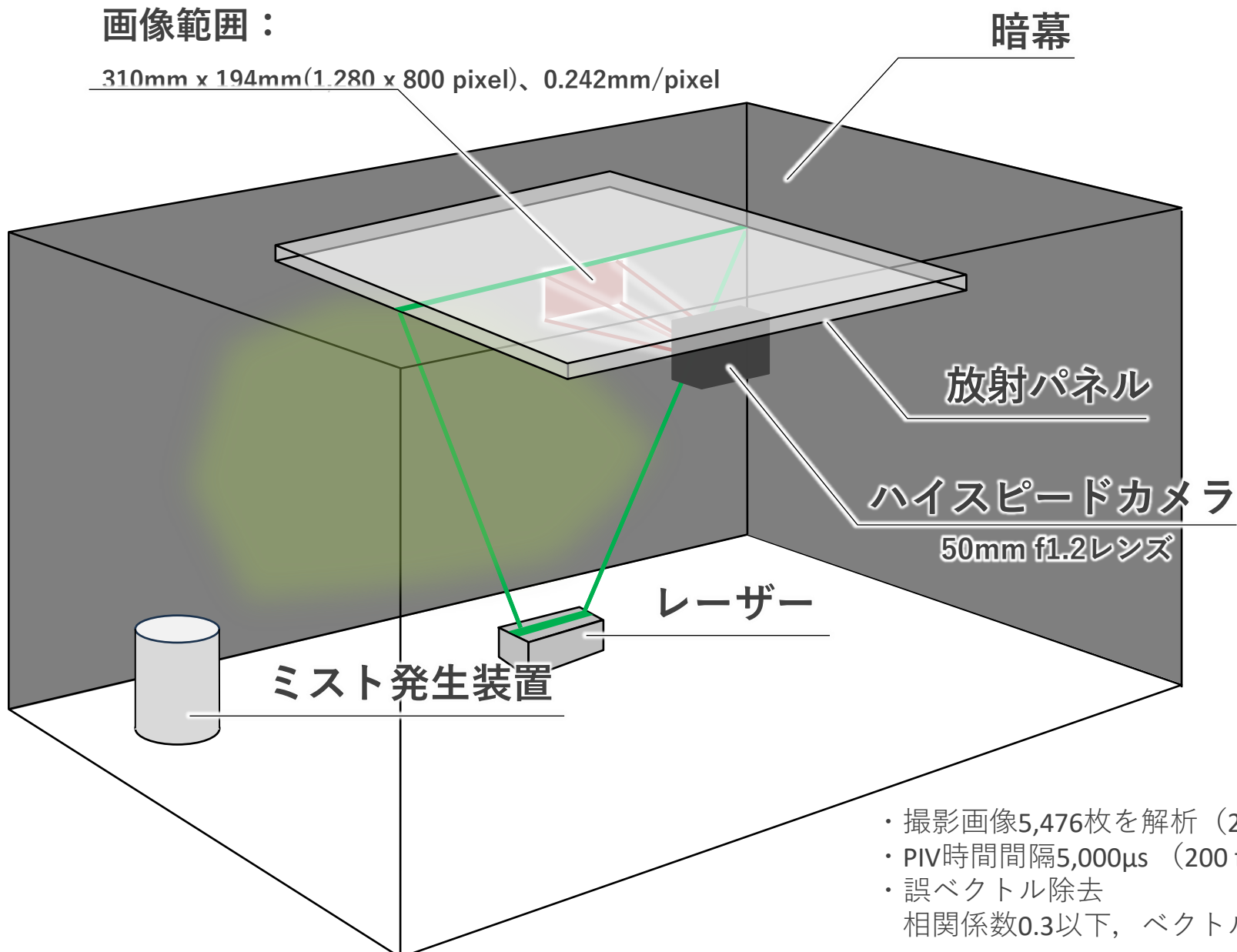
# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 微気流の可視化 | 試験概要

## PIV (Particle Image Velocimetry : 粒子画像流速測定法)によるパネル近傍の微気流を可視化

微細なミストを発生させレーザーを照射し、ハイスピードカメラで毎秒200枚の速度で画像を撮影します。撮影した画像を重ね合わせることで、ミストの移動した距離を計測し、気流の向きと速度を把握します。

画像範囲：

310mm x 194mm(1,280 x 800 pixel)、0.242mm/pixel

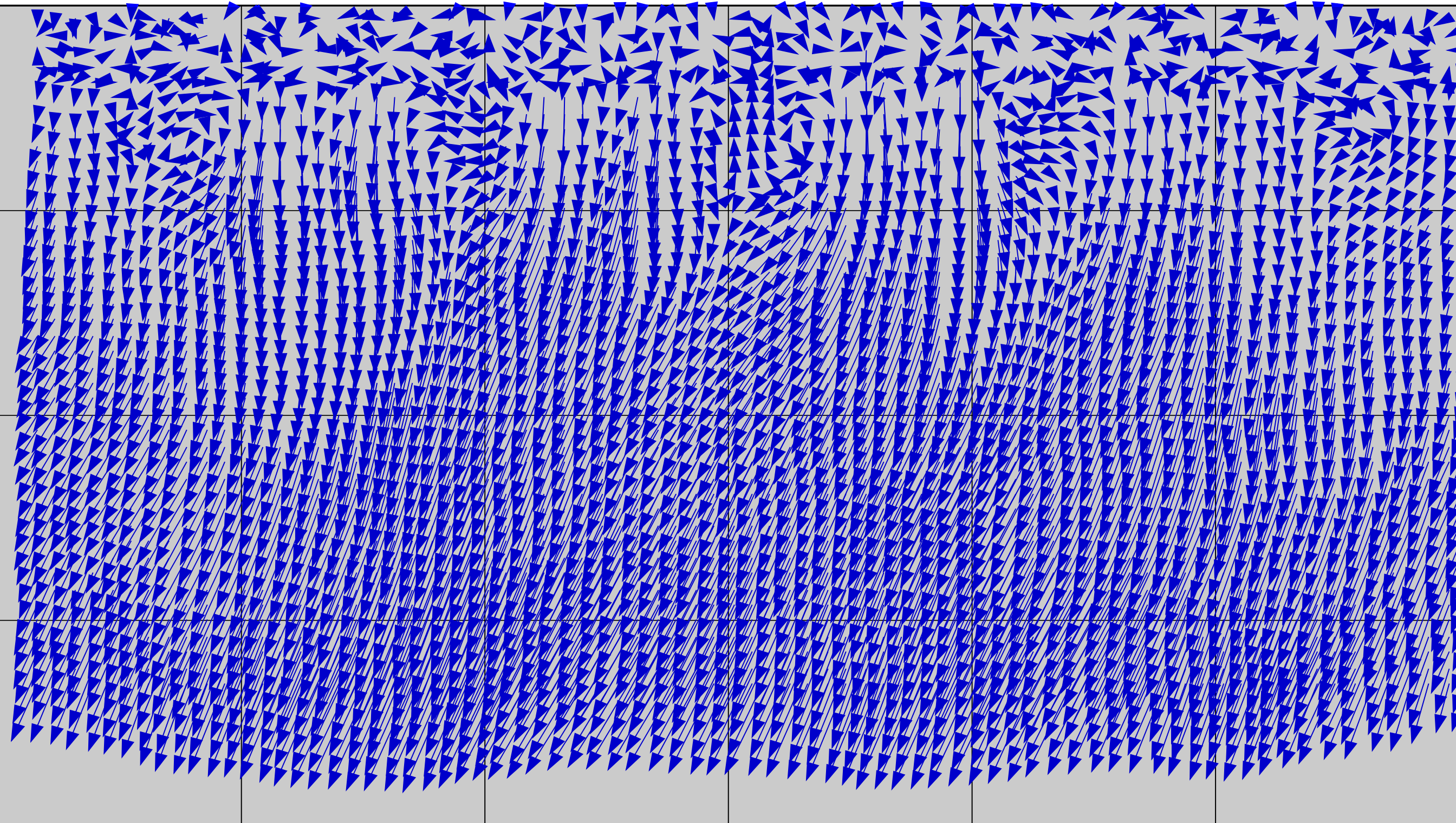


- ・撮影画像5,476枚を解析 (2,738ペア)
- ・PIV時間間隔5,000 $\mu$ s (200 frame/s)
- ・誤ベクトル除去  
相関係数0.3以下, ベクトル大きさ7以上, 近傍メディアンベクトル比較

# 微気流の可視化



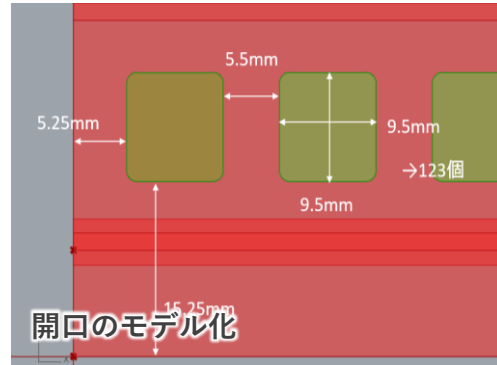
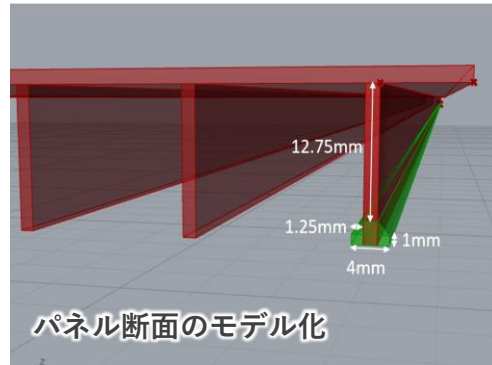
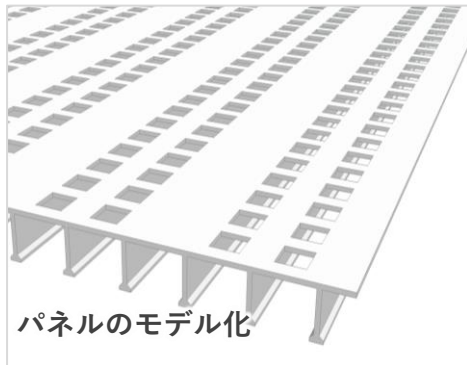
# 微気流の可視化





# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 CFDモデルへの展開

## 放射パネル周りのCFDモデル

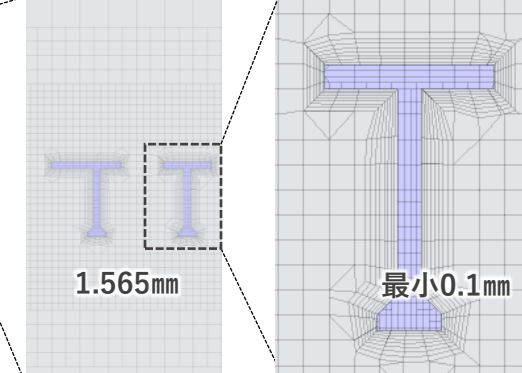


## メッシュ分割設定

計算対象室断面のメッシュ構成

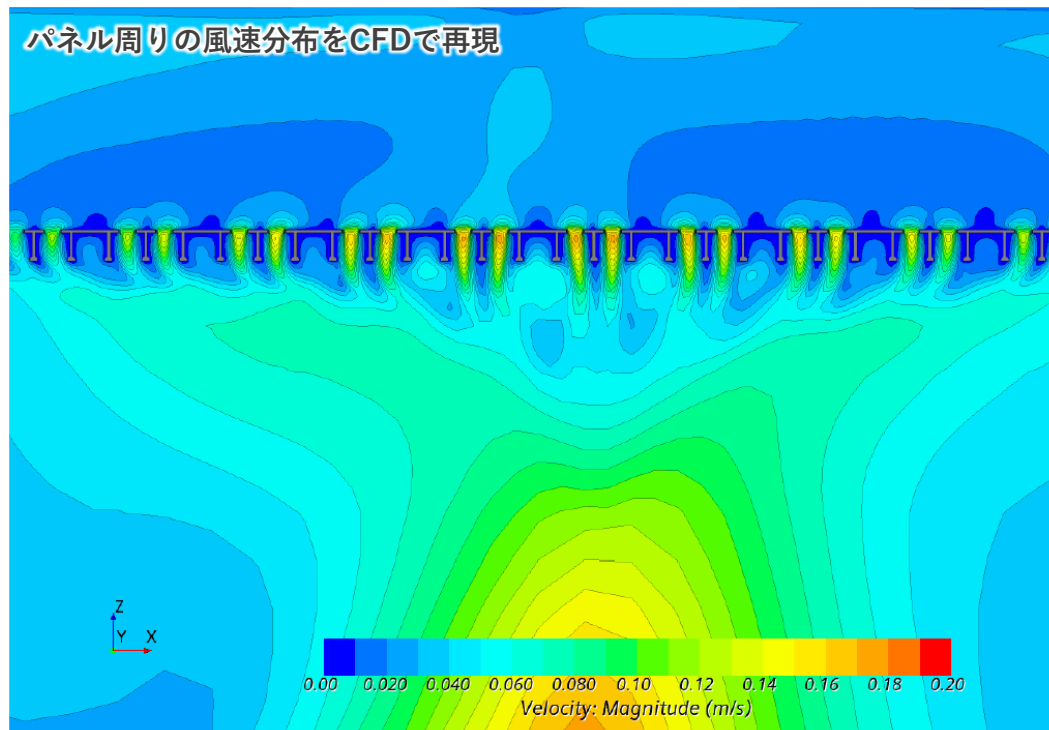


パネルまわりのメッシュ

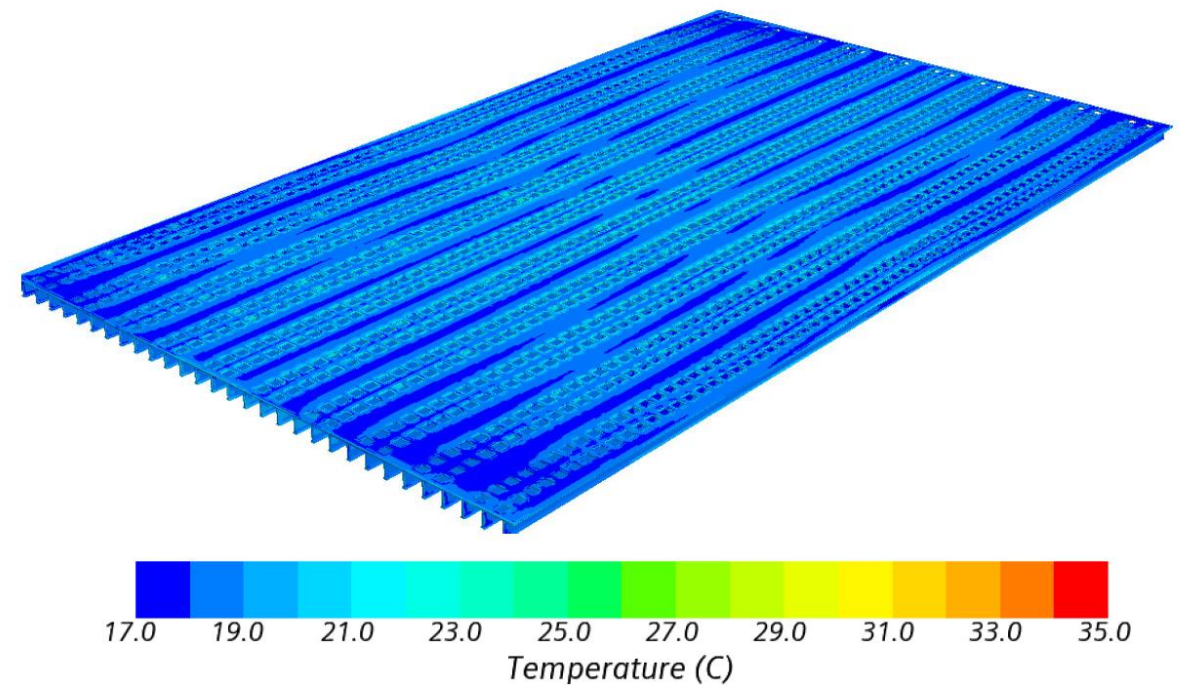


## 放射パネル周りをCFDで再現

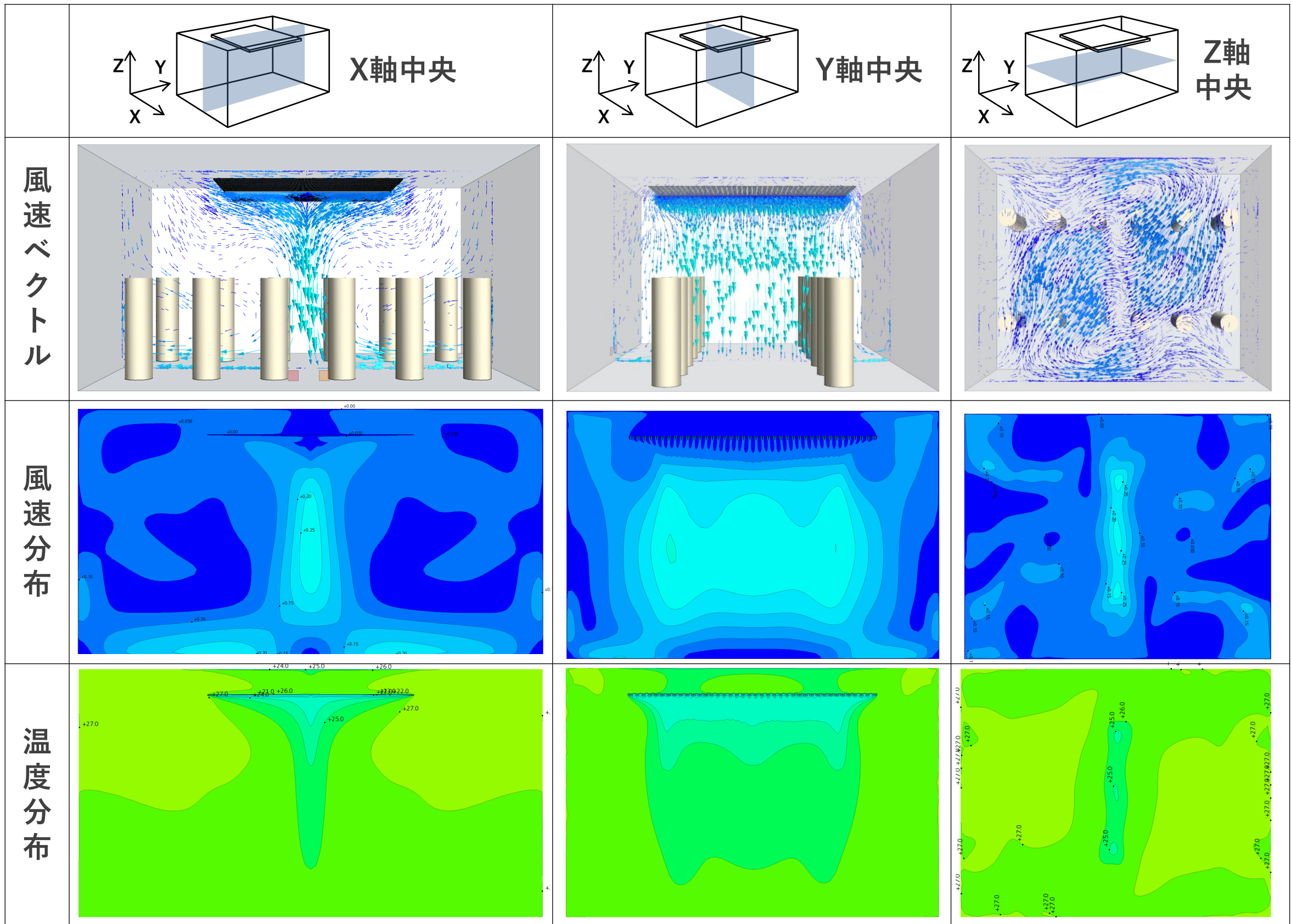
パネル周りの風速分布をCFDで再現



パネル単体の温度分布をCFDで再現

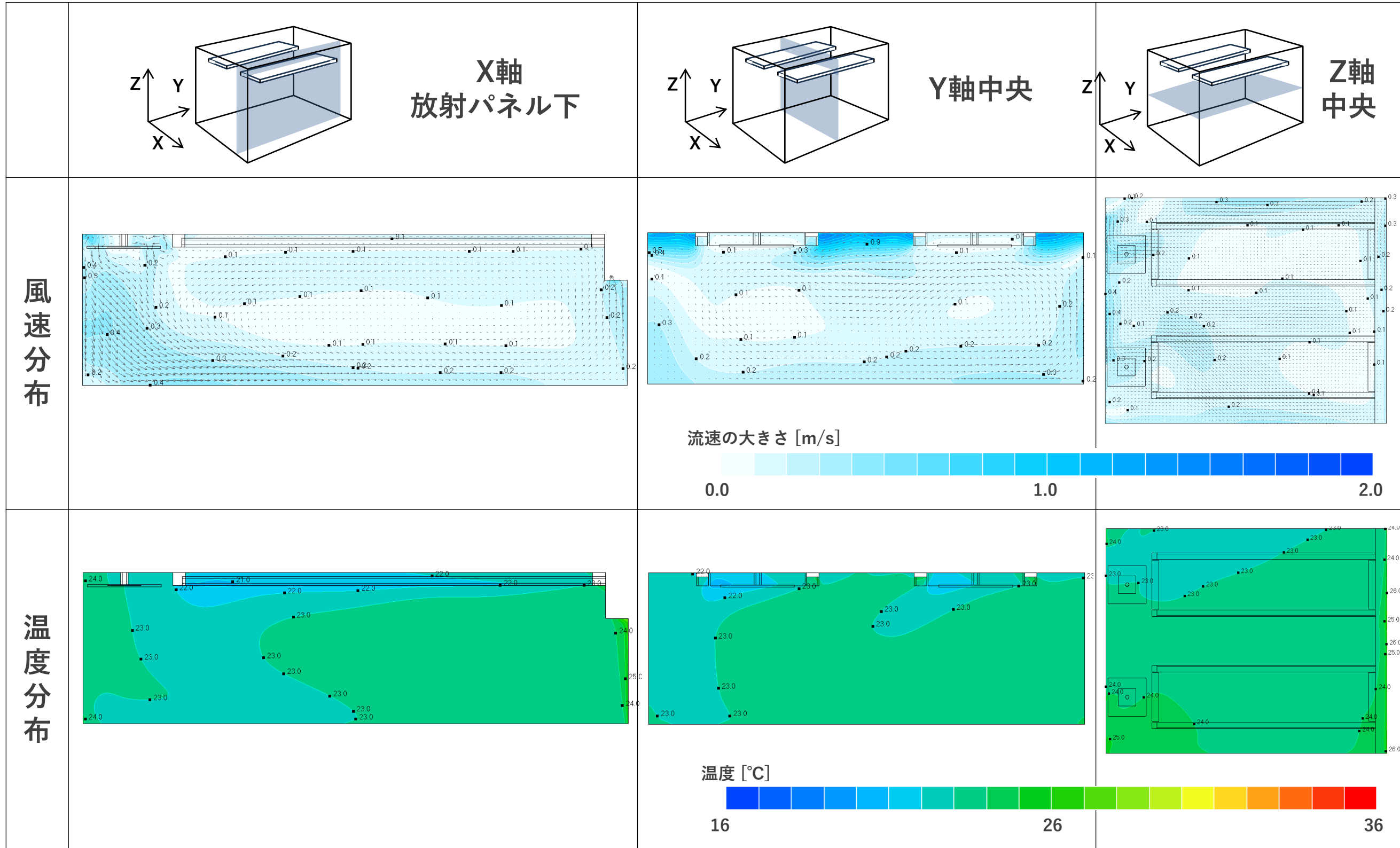


# 1 自然対流促進型放射パネルの開発 CFD解析による測定室の再現結果



1 自然対流促進型放射パネルの開発

放射パネルを適用するオフィスを対象としたCFD解析



# 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

---



## 計画概要 | 建物概要

# “The GEAR” (Kajima Lab for **G**lobal **E**ngineering, **A**rchitecture & **R**eal Estate)

鹿島建設のアジア統括事業拠点として①オフィス、②研究開発、③オープンイノベーションの3つの機能を併せ持つ施設として計画・建設。

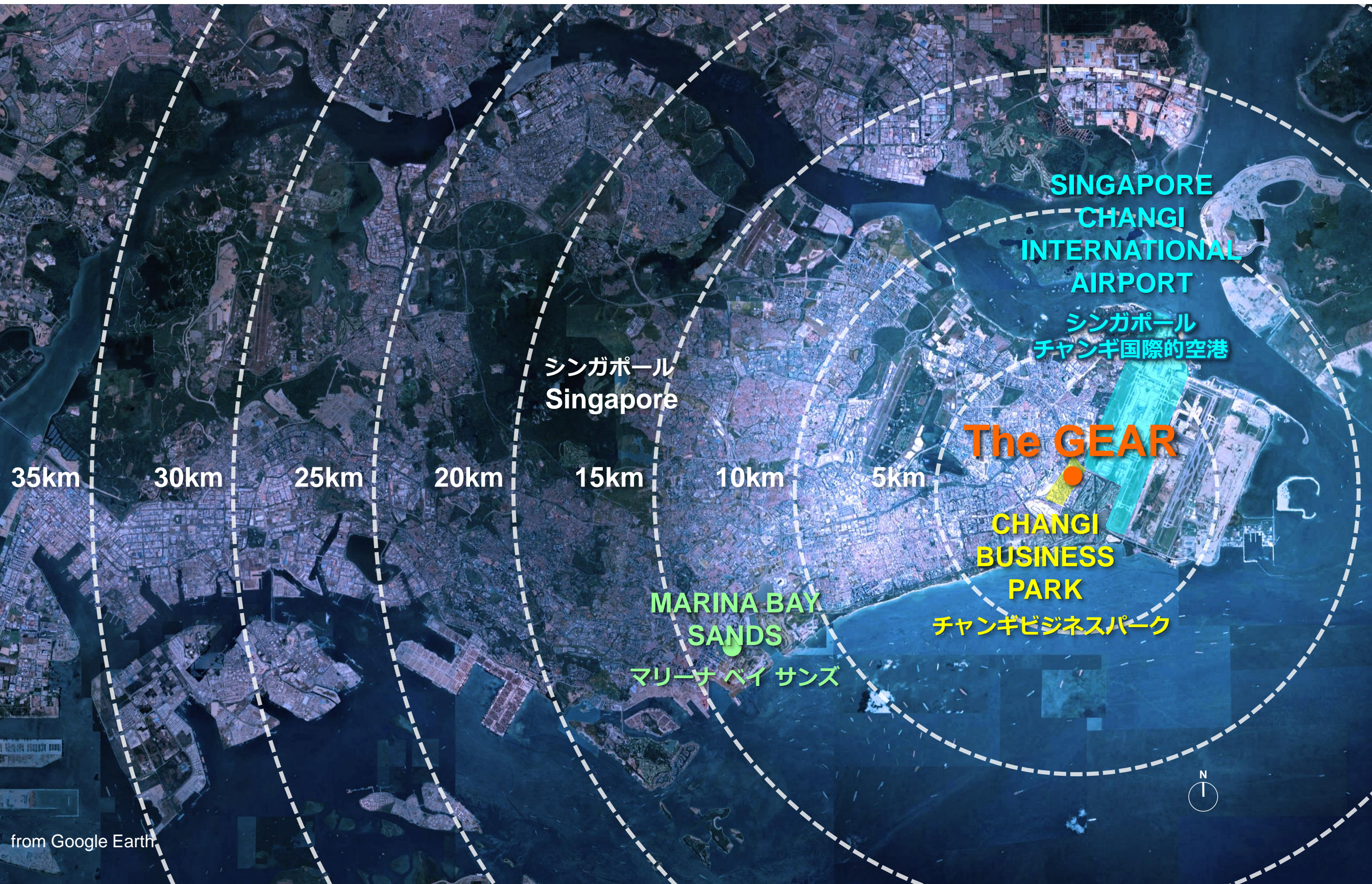
AIの活用やコンストラクション・ロボティクス(建設自動化)をはじめとした**先進的技術を研究開発**する鹿島技術研究所のシンガポールオフィスの実験施設を併設し、東南アジアの中心であるシンガポールを拠点に鹿島グループと各国の外部企業、政府機関、大学、スタートアップ企業などとの**オープンイノベーションを推進する場**としての役割を果たします。

**建物自体を様々な実証的研究のための「テストベッド」**として有機的に活用し、実際の建物運用へのフィードバックを可能にする**スマートウェルネスオフィス**としての進化が期待されている。

- 1) 発注者 : Kajima Development
- 2) 所在地 : シンガポール・チャンギービジネスパーク
- 3) 主用途 : 事務所、研究所
- 4) 敷地面積 : 5,235㎡
- 5) 延床面積 : 13,088㎡
- 6) 構造 : 鉄筋コンクリート造、地上6階、地下1階
- 7) 設計 : 鹿島建設株式会社建築設計本部
- 8) 施工 : Kajima Overseas Asia (Singapore)Pte.Ltd

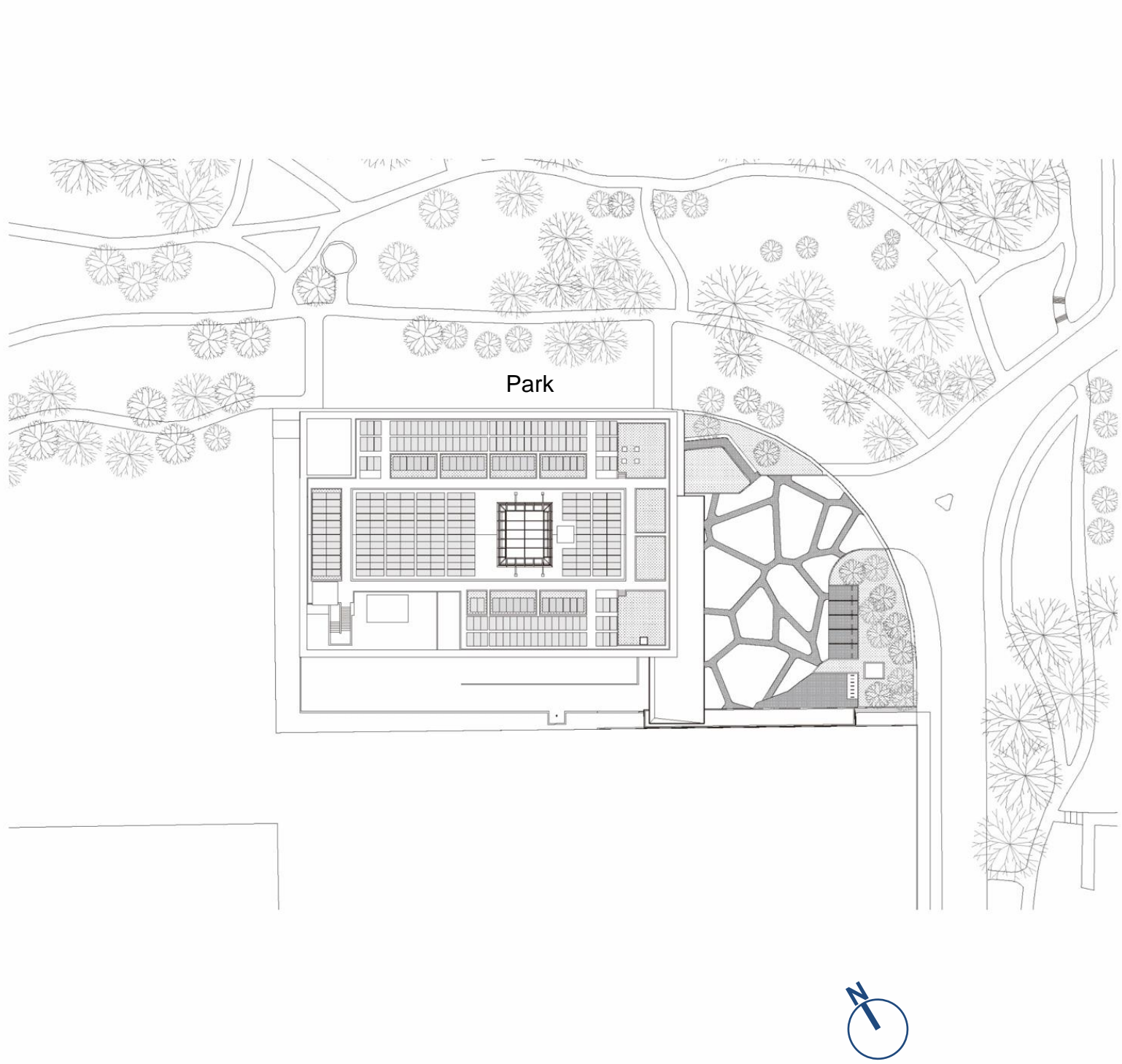


# 計画概要 | 計画地



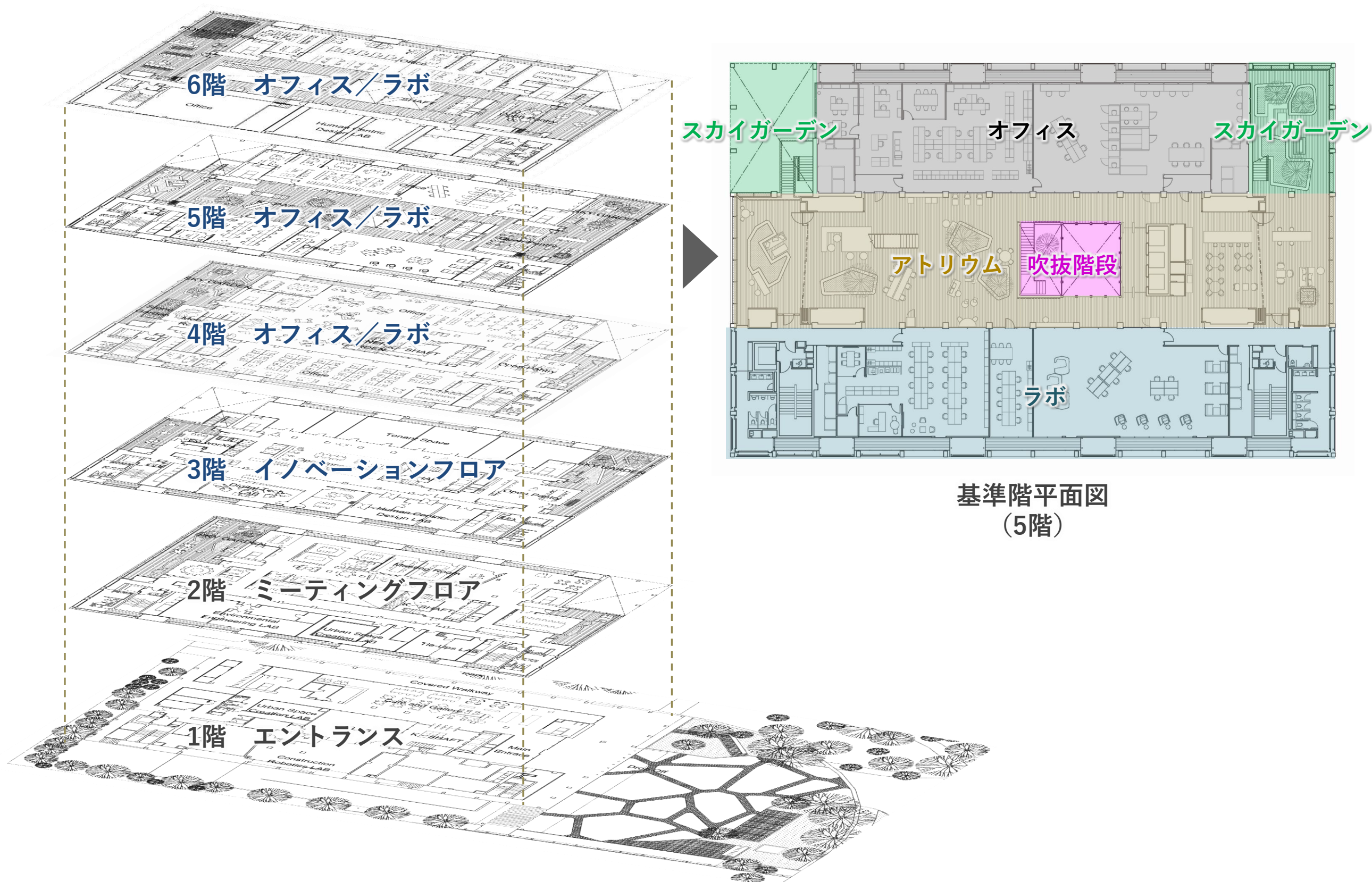
## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

# 計画概要 | 計画地の航空写真



2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

計画概要 | 各階平面図



# 計画概要 | 外観写真

外観写真 南側



スカイガーデン



外観写真 西側





## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 計画概要 | 内観写真

吹抜け階段



イノベーションスペース



スカイガーデン



アトリウム (K/PARK)



ギャラリー



## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

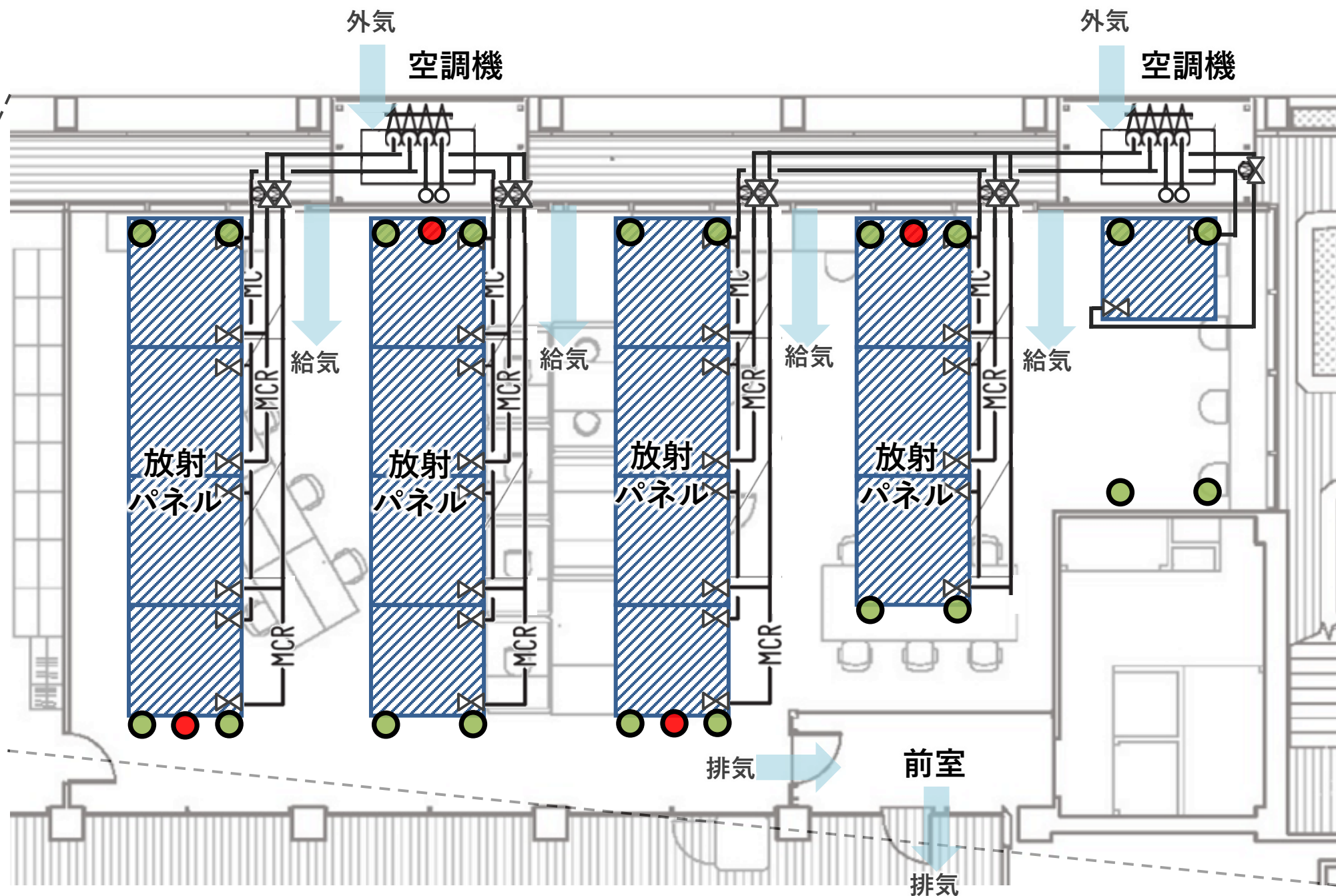
## 内観写真 | オフィス空間

フリーアドレス・ABWを採用したオフィス、ラボ  
設備システムをワーカーの目に見える形にすることで、温熱環境や視環境を認知できるようにし、  
「人の感じ方の総和としての快適性」を提供



2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

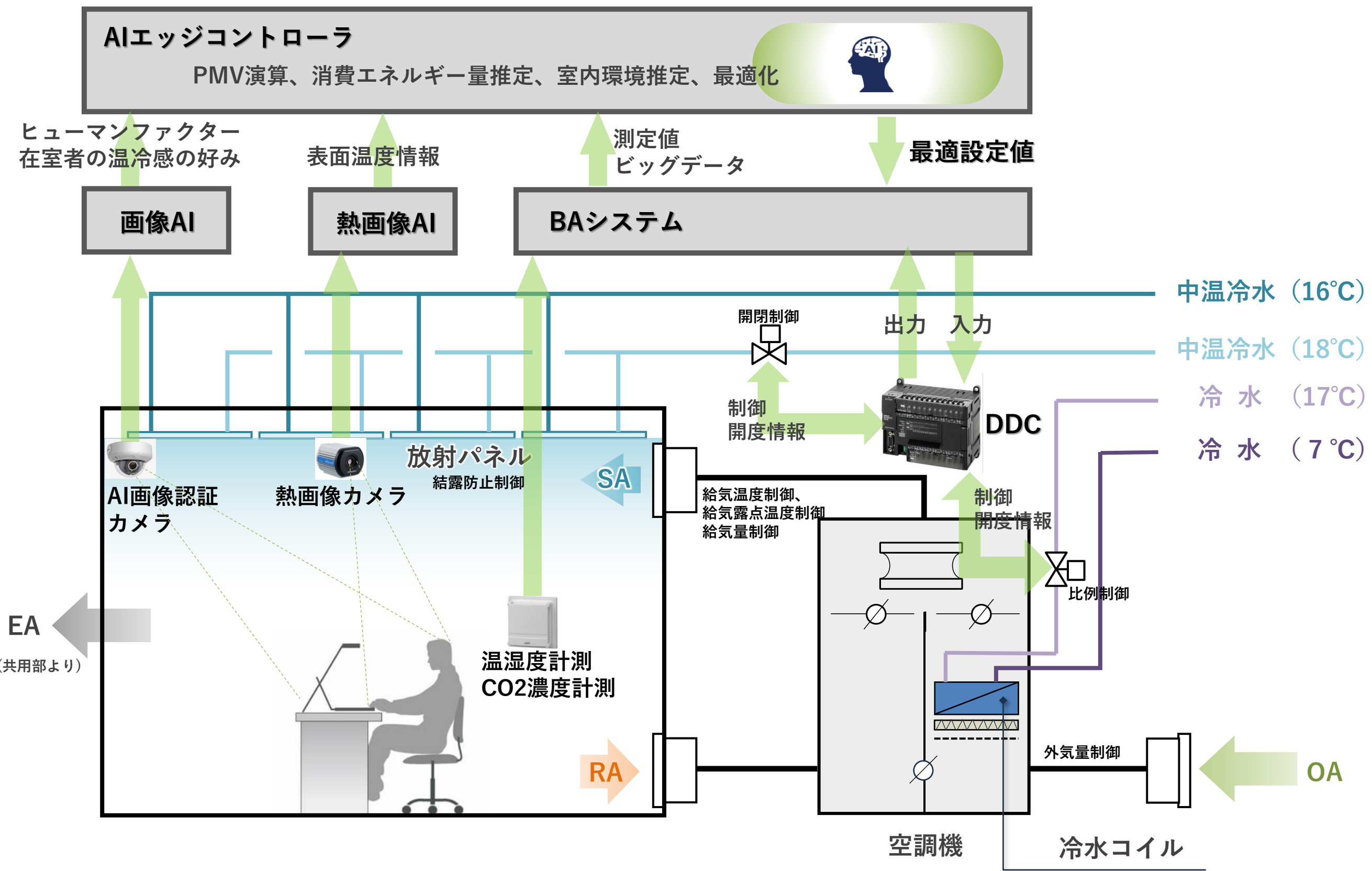
# 放射パネル平面配置図



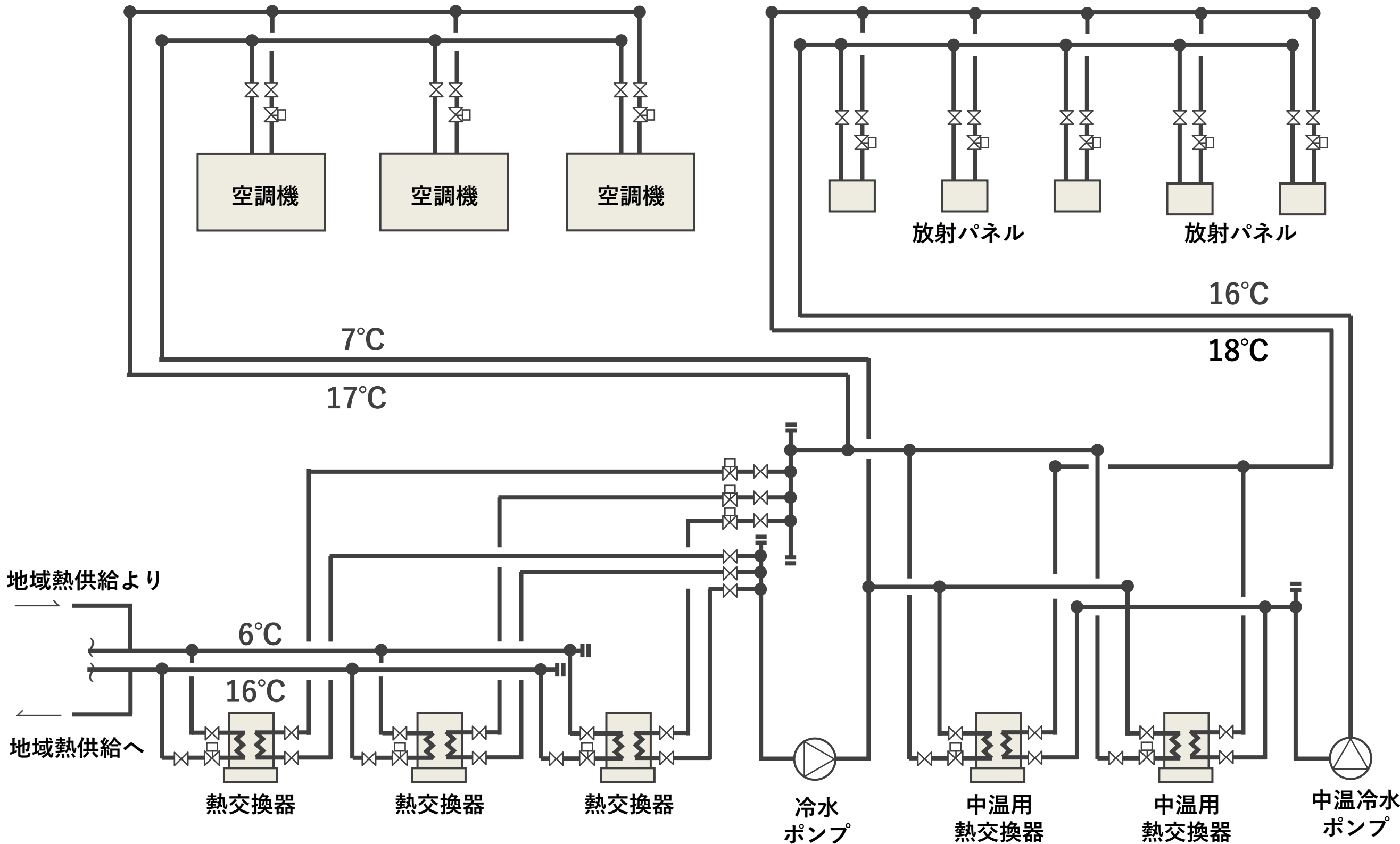
5階平面図

- 熱画像カメラ
- AI画像認証カメラ

## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 空調システムの自動制御

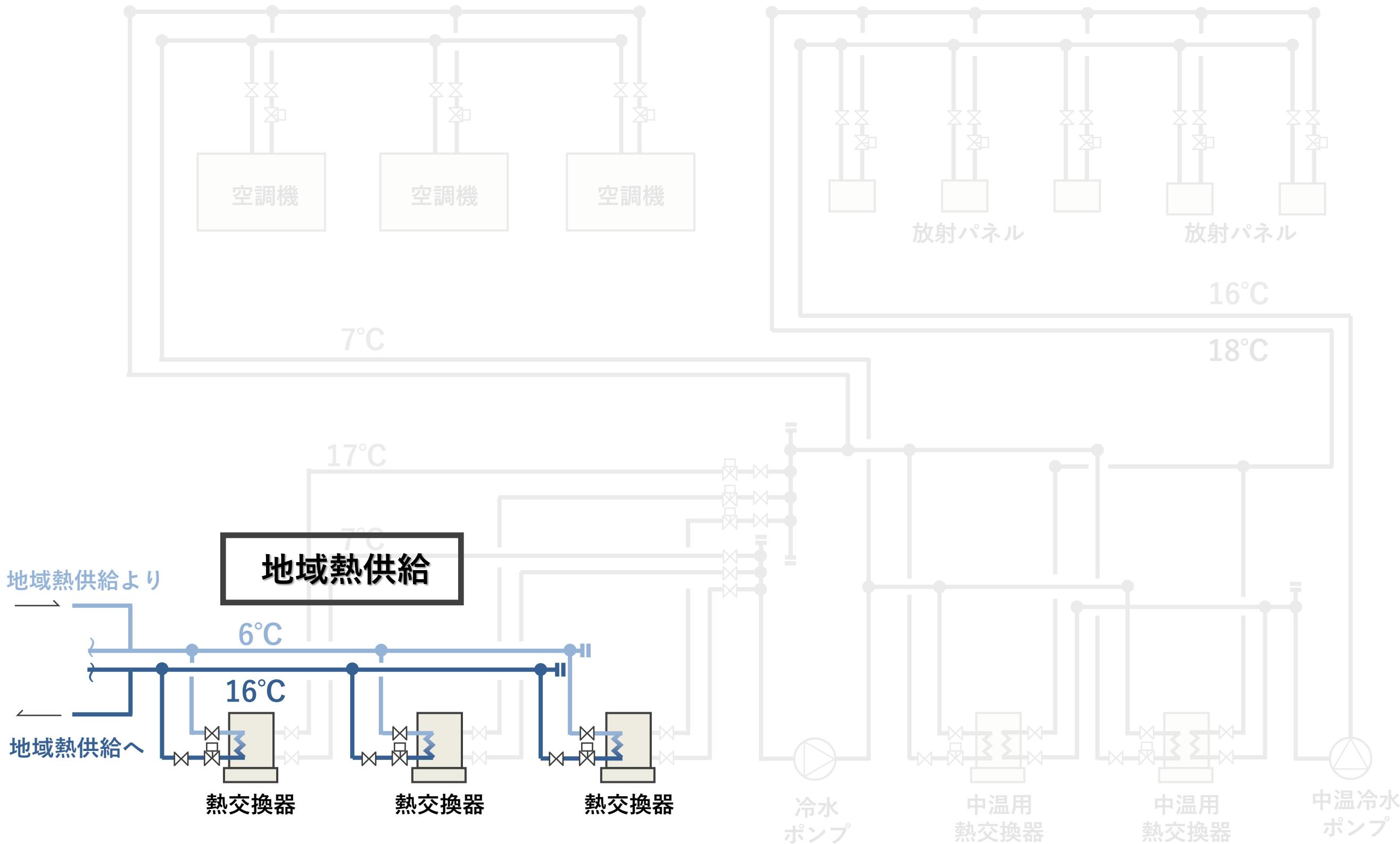


# 熱源システム



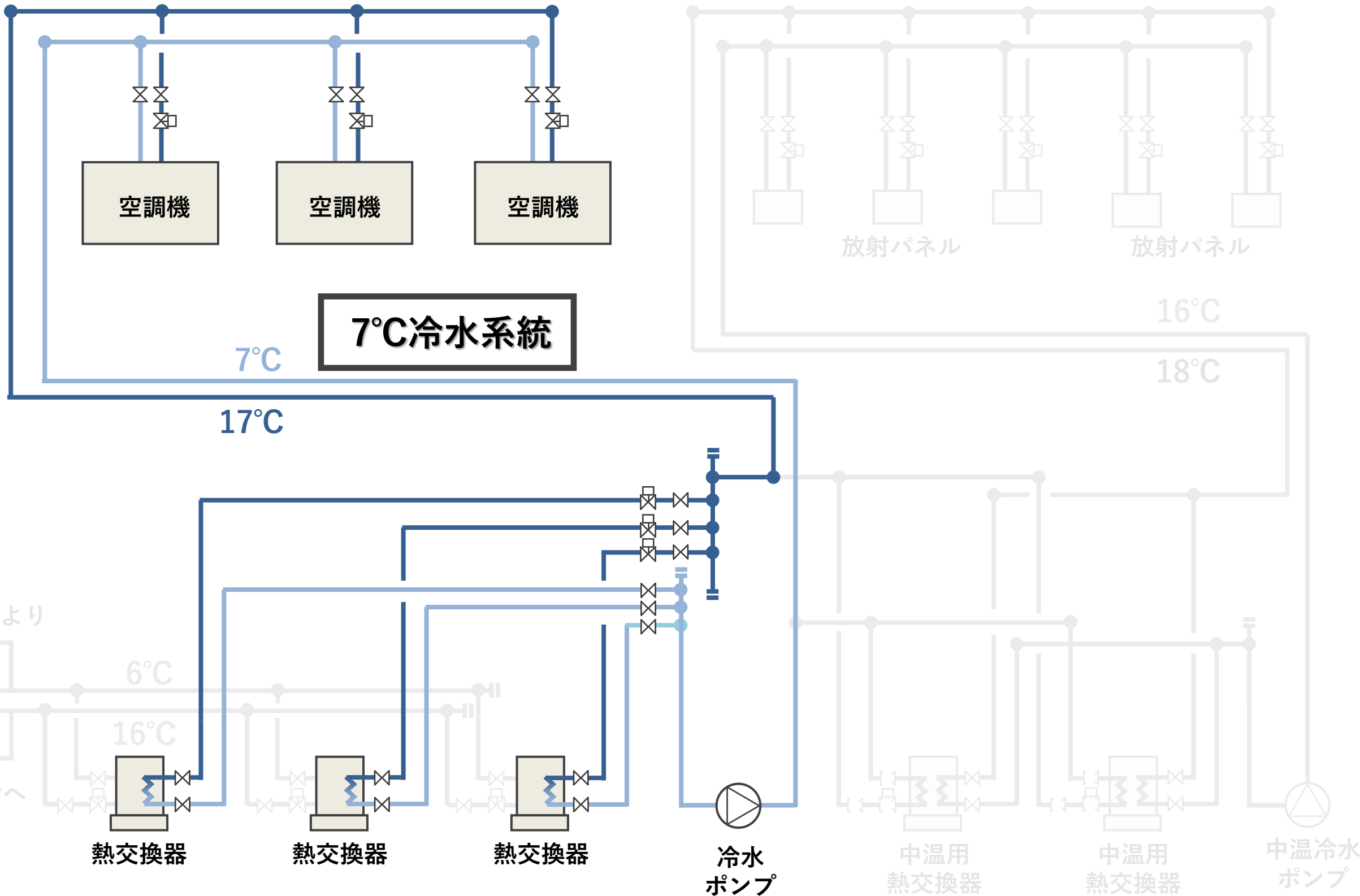
2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

# 熱源システム：地域熱供給

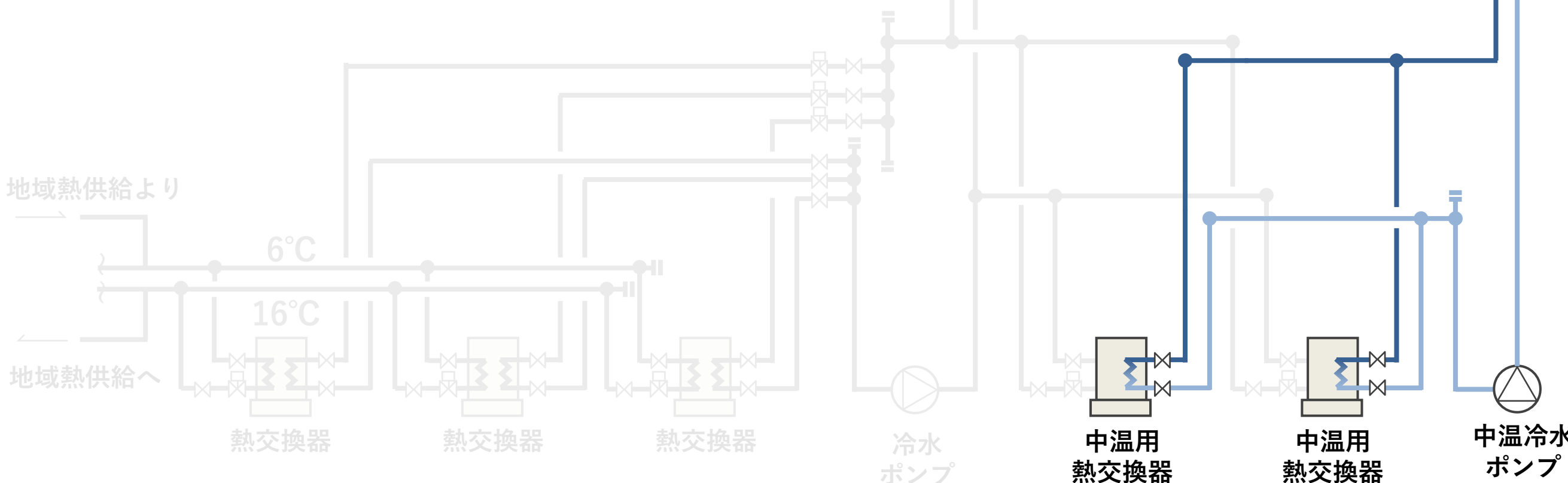
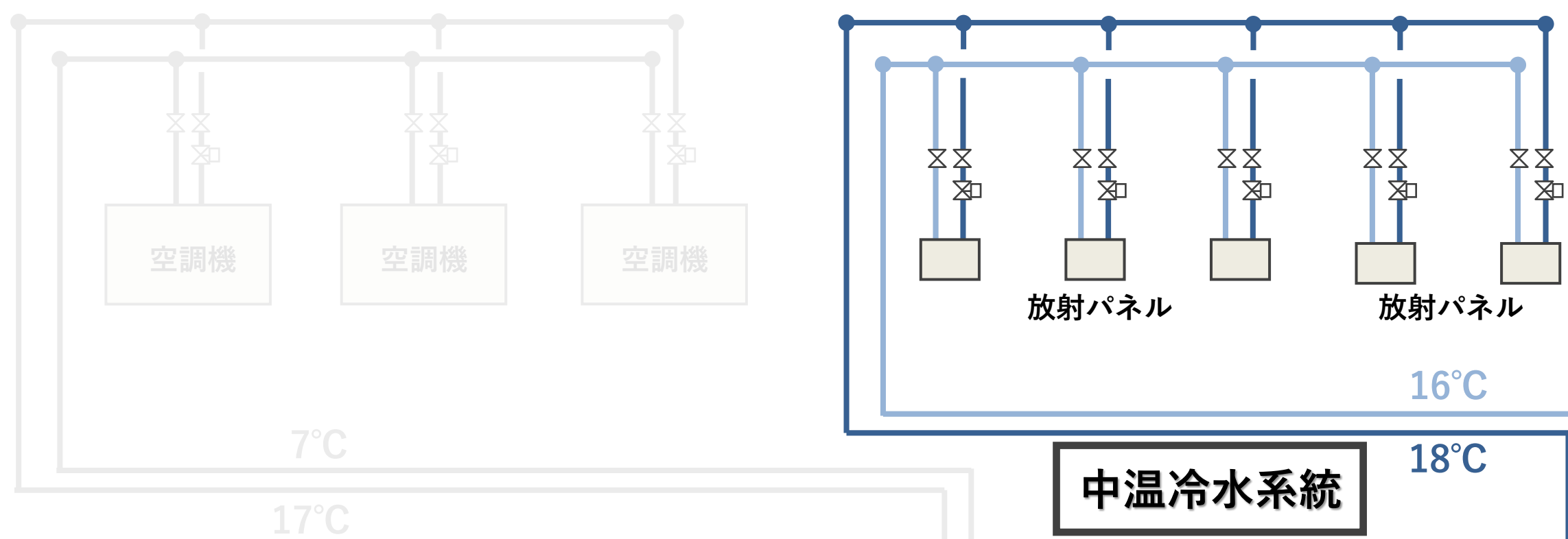


2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用

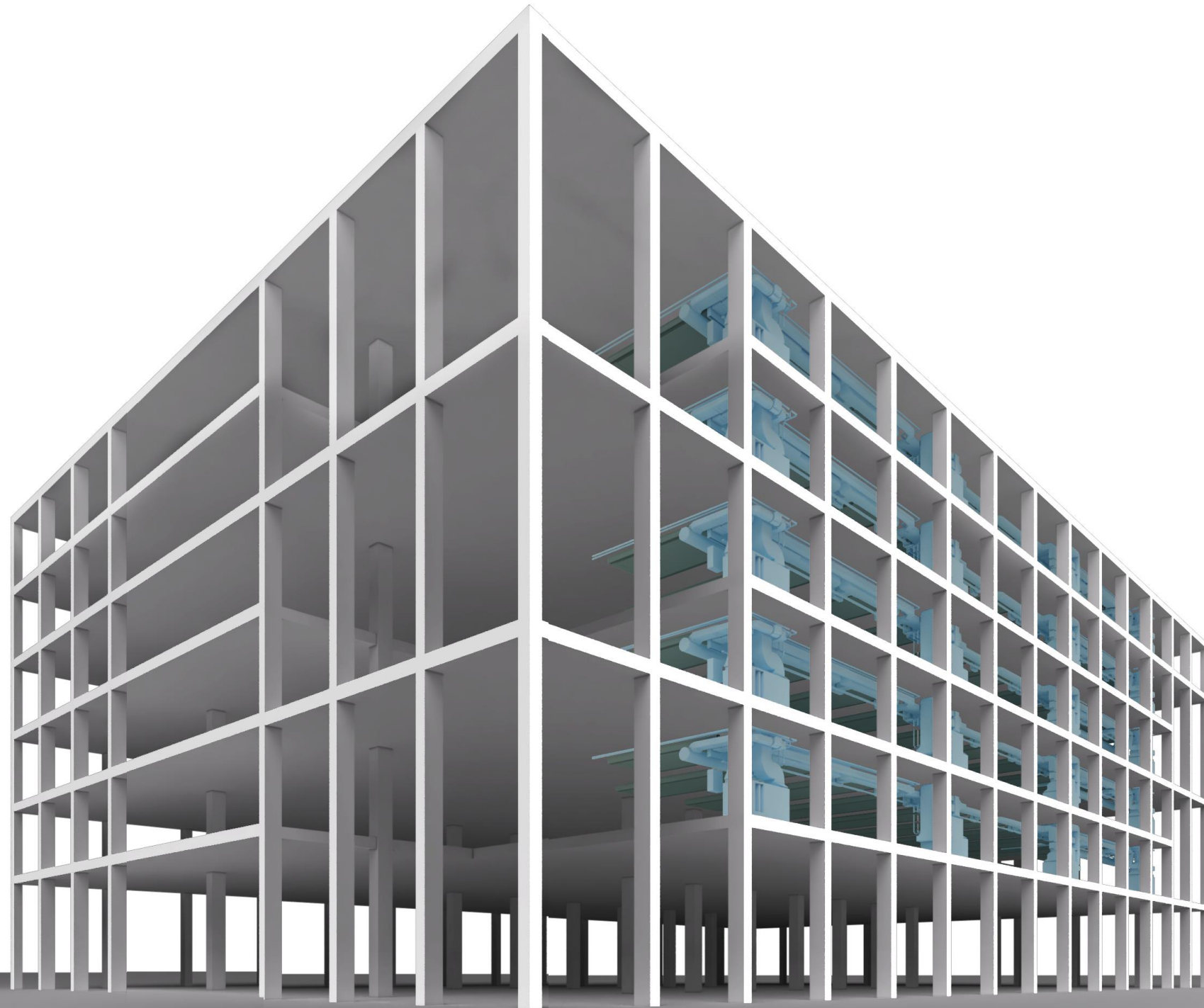
# 熱源システム：7°C冷水系統



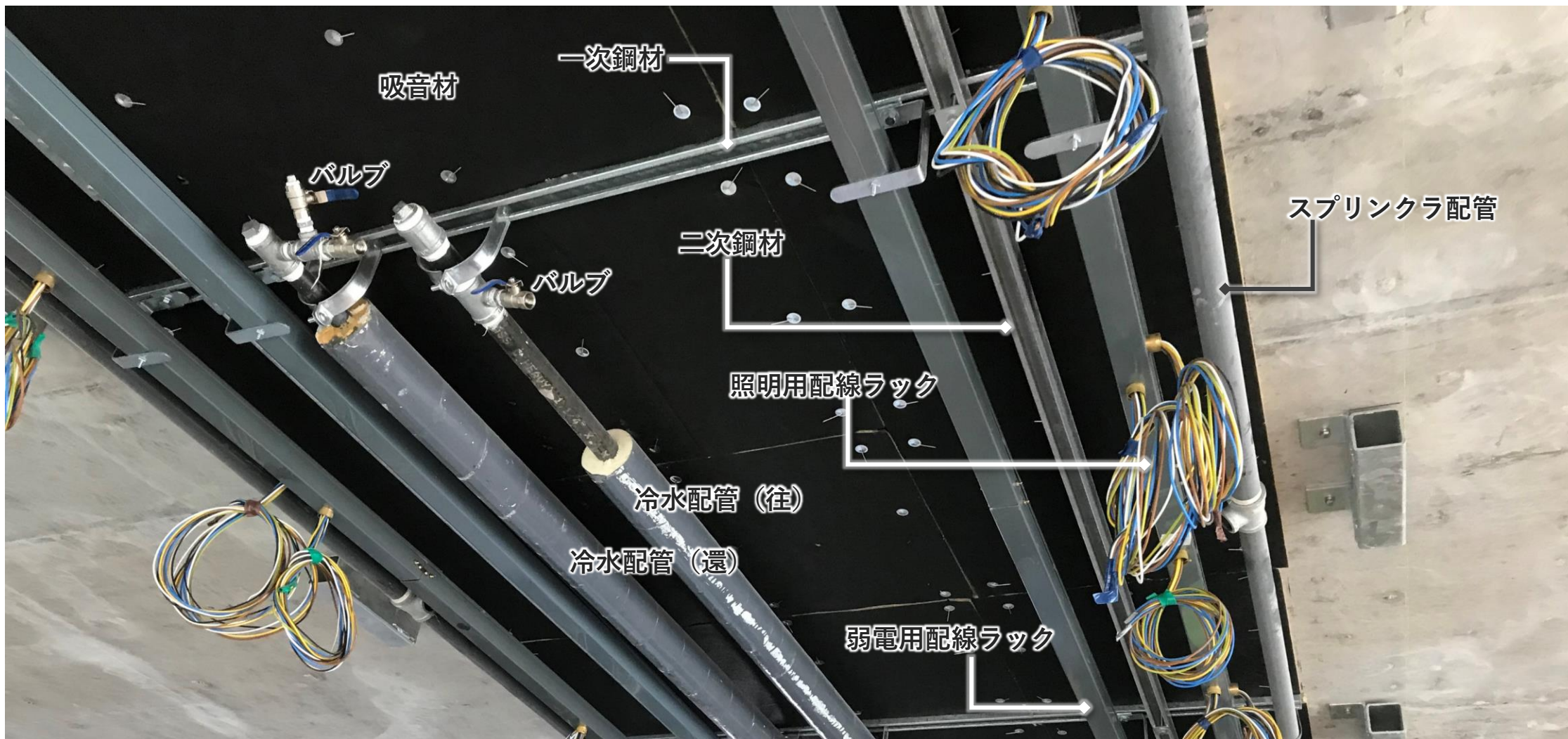
## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 熱源システム：中温冷水系統



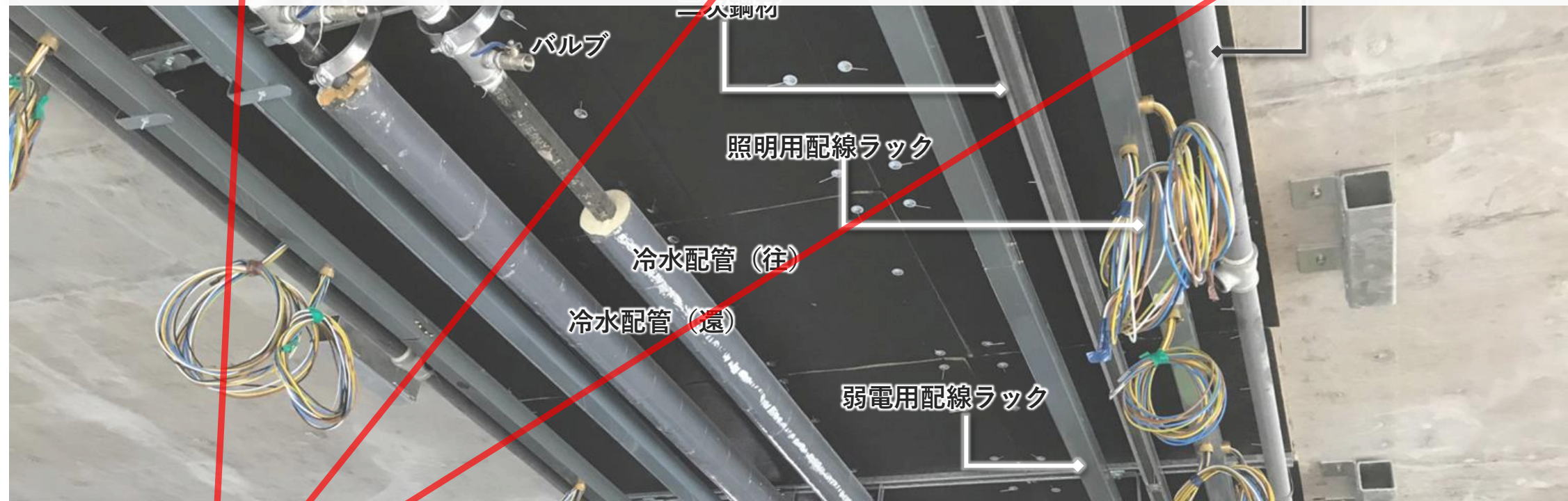
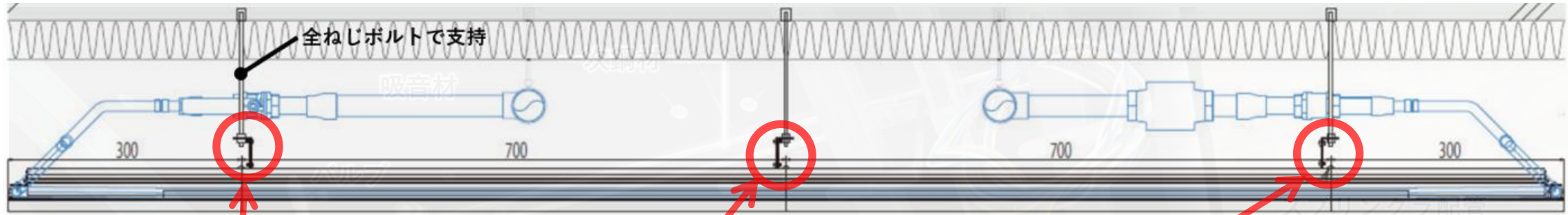
## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 スケルトンインフィルの分離



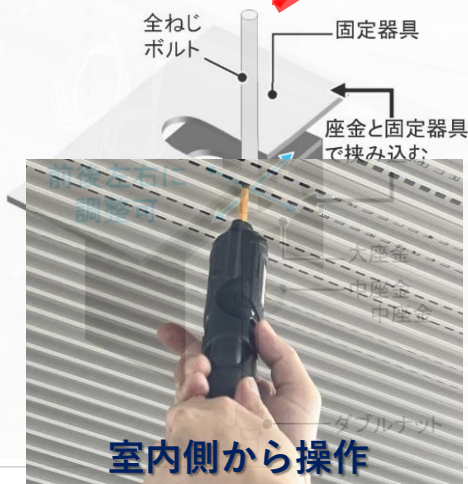
## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 施工性への配慮 | 開閉型点検パネル



## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 施工性への配慮 | 位置調整機構

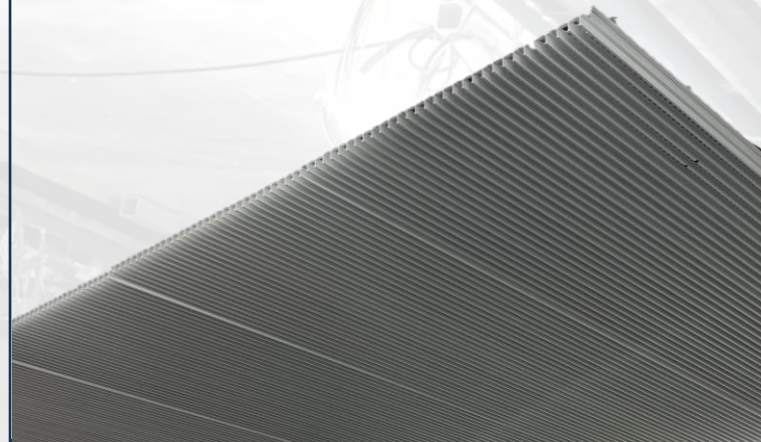


パネルを吊るための部材に  
位置と高さを調整する機構を付加

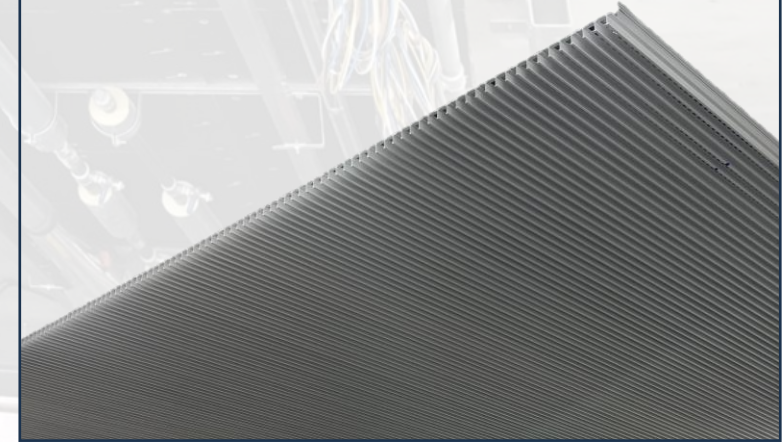


室内側から操作

位置調整前  
パネル高さの僅かな違いでふりくが発生

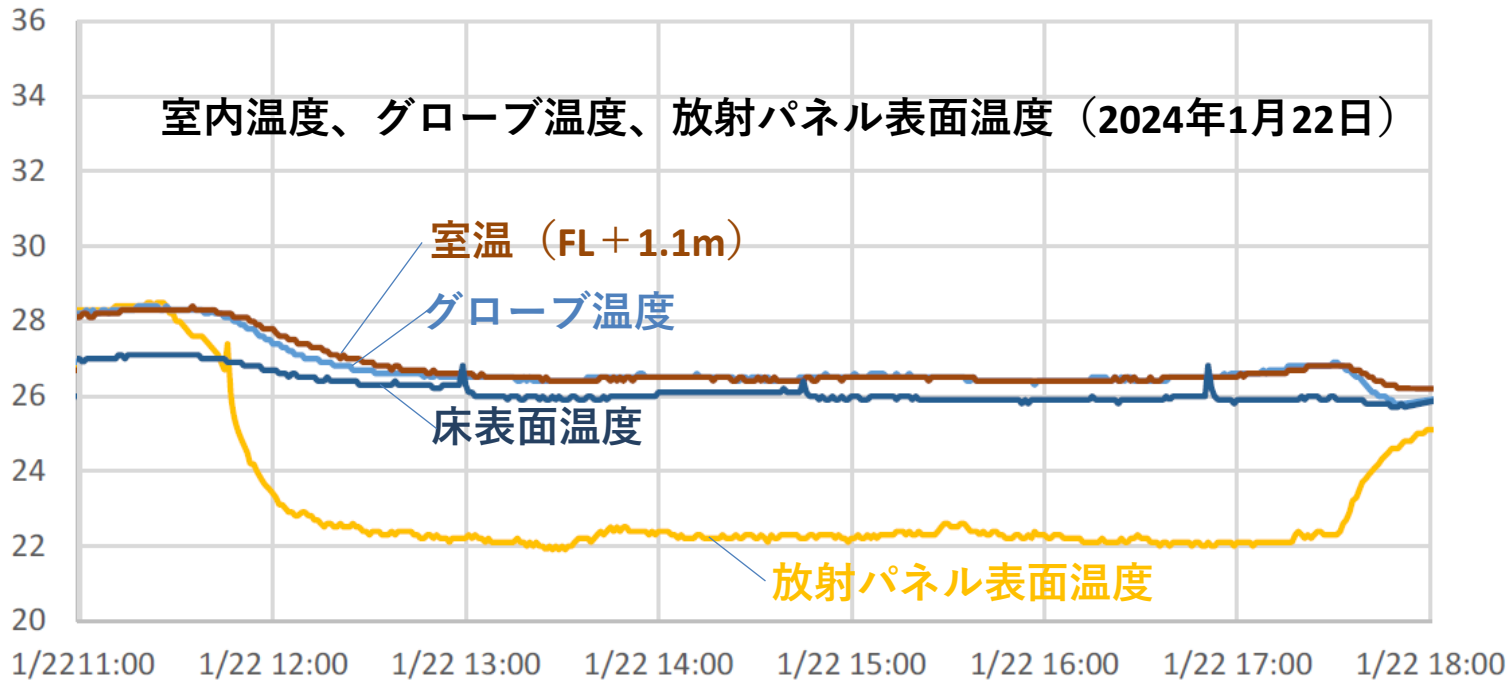


位置調整後  
パネル高さが揃い、ふりくが解消

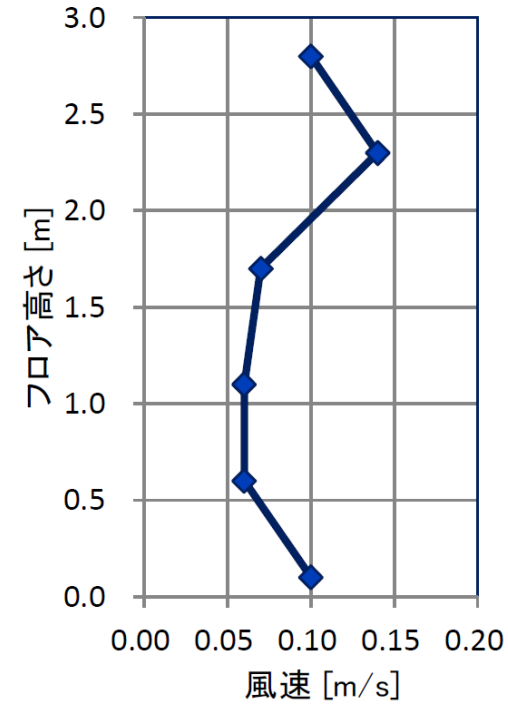


# 現地での測定結果

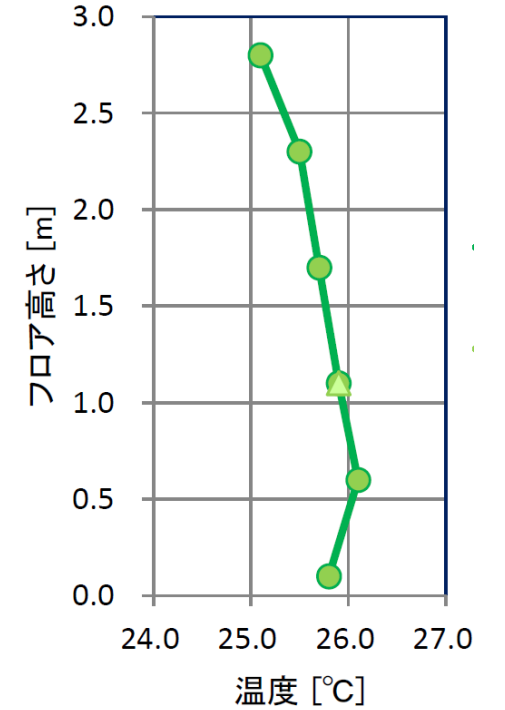
室内温度、グローブ温度、放射パネル表面温度（2024年1月22日）



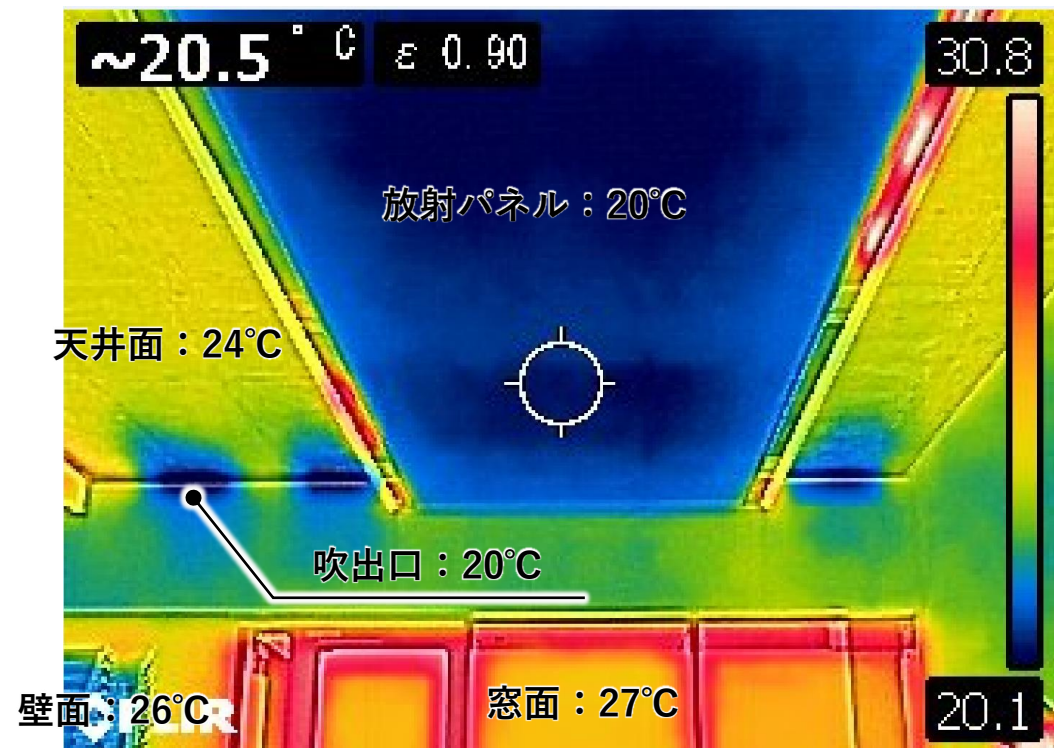
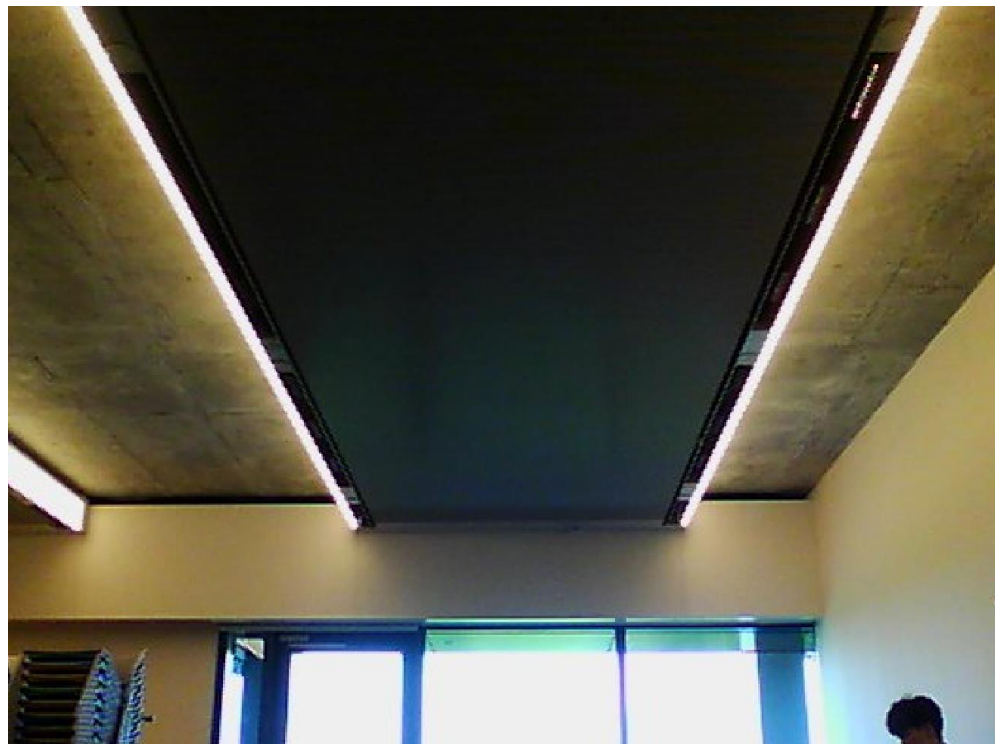
上下風速分布



上下温度分布

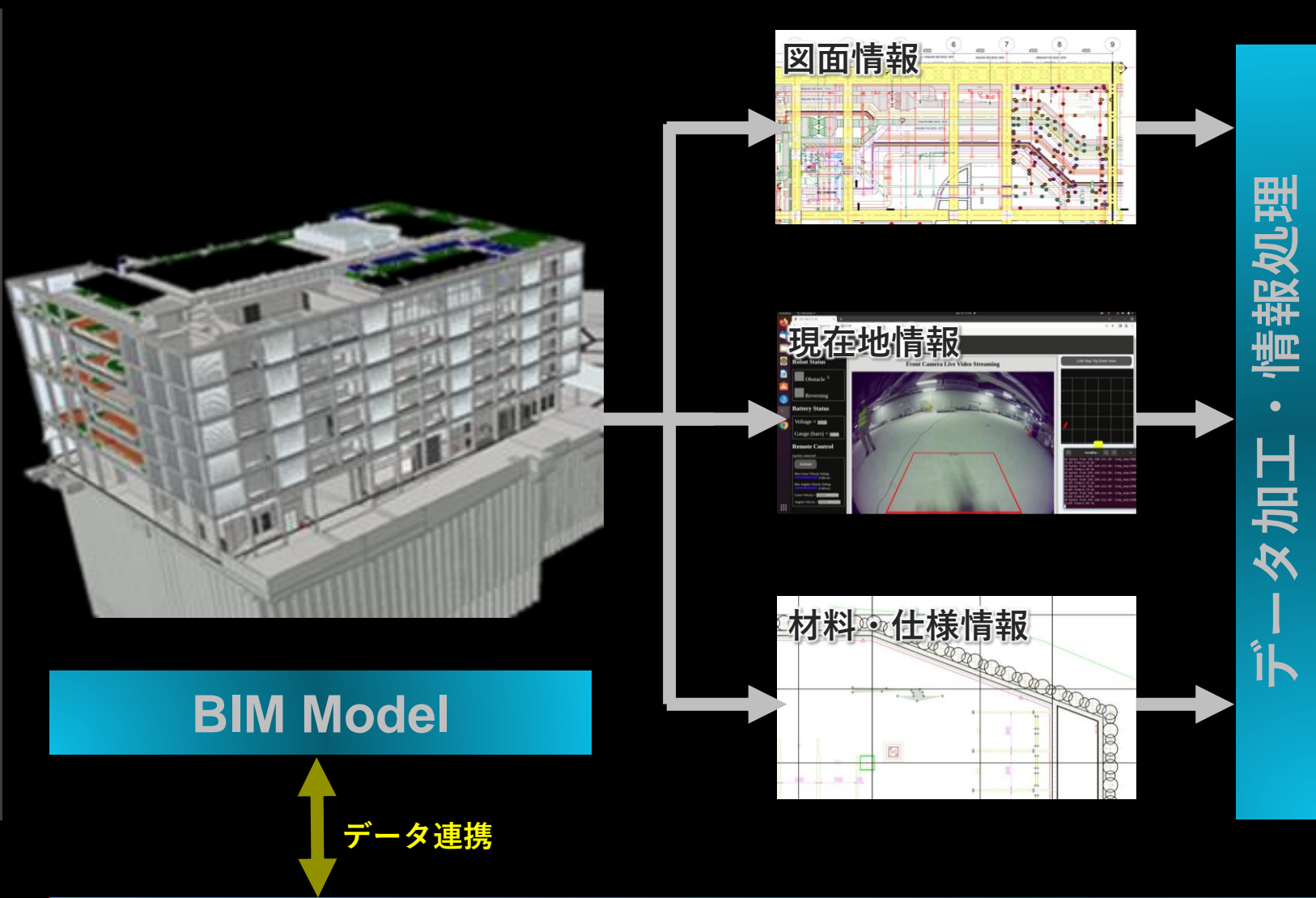


サーモカメラによる熱画像（2024年5月）

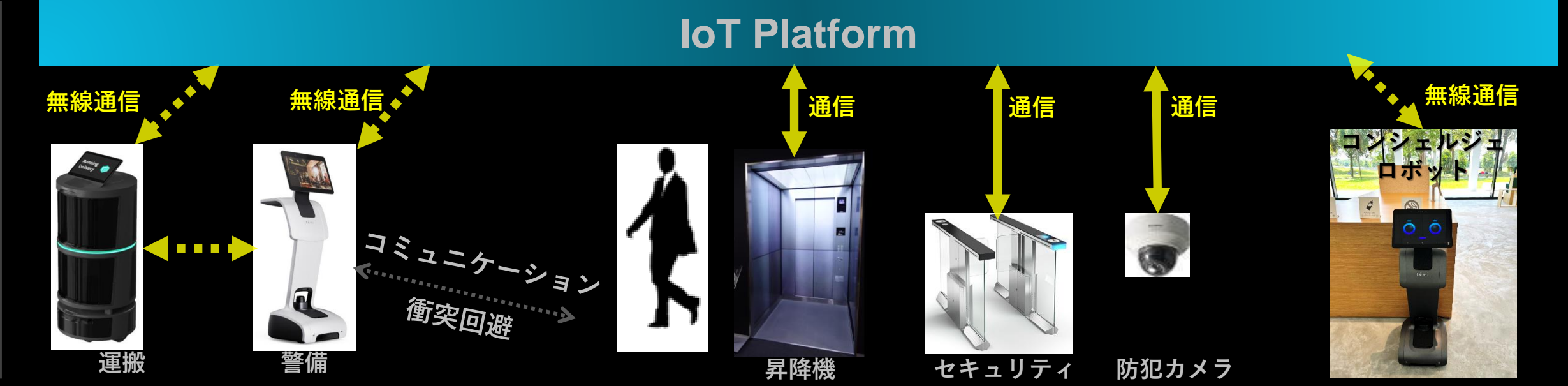


# 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 ロボットによる自動施工・運用面での省人化

施工時

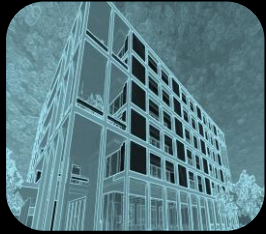


運用時



## 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 デジタルツイン空間の実現

### Digital Twin



スマートFM  
Smart FM

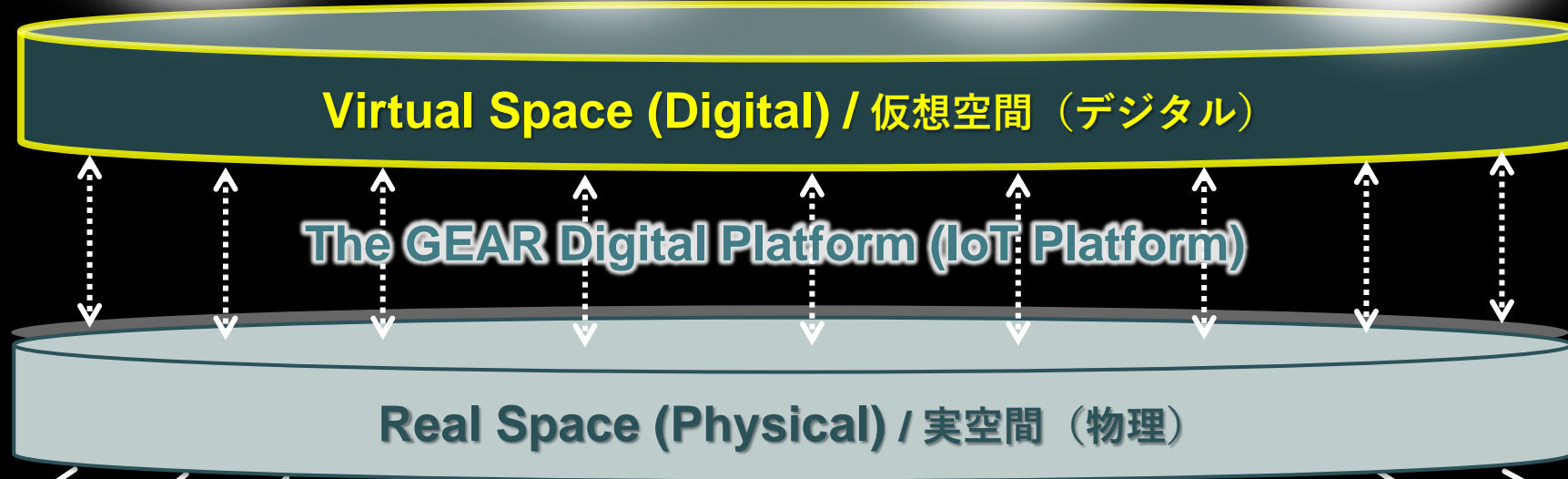
省エネ・脱炭素化  
環境に優しい  
Energy Saving  
Decarbonization  
Eco-Friendly

ウェルビーイング  
Occupants  
Well-being

革新  
Innovation

モニタリング  
Monitoring

フィードバック  
Feedback



### 現実空間



BMS  
・ACMV・照明  
・電気など

リフト

顔認識  
セキュリティ

駐車場  
システム

監視カメラ

PV  
パネル

自動灌水

休憩室

IAQ  
センサー

コラボ  
スペース

光学  
ファイバ  
センサー

ボーリング孔

位置追跡  
カメラ

重要な  
センサー

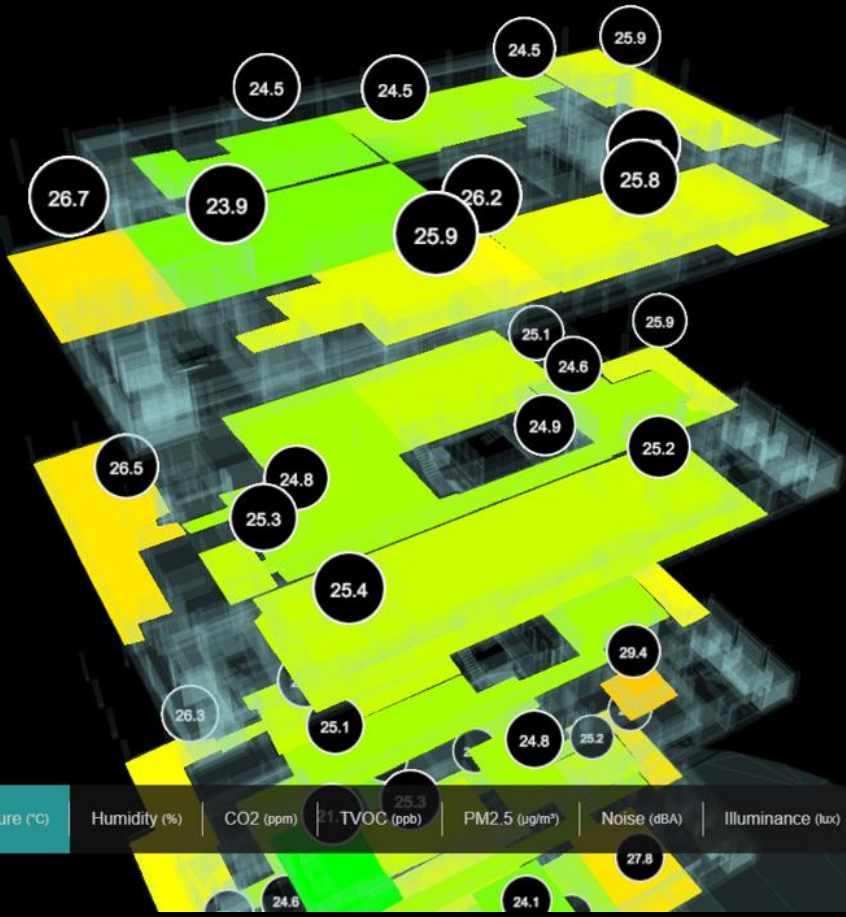
# 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 デジタルツイン空間の実現



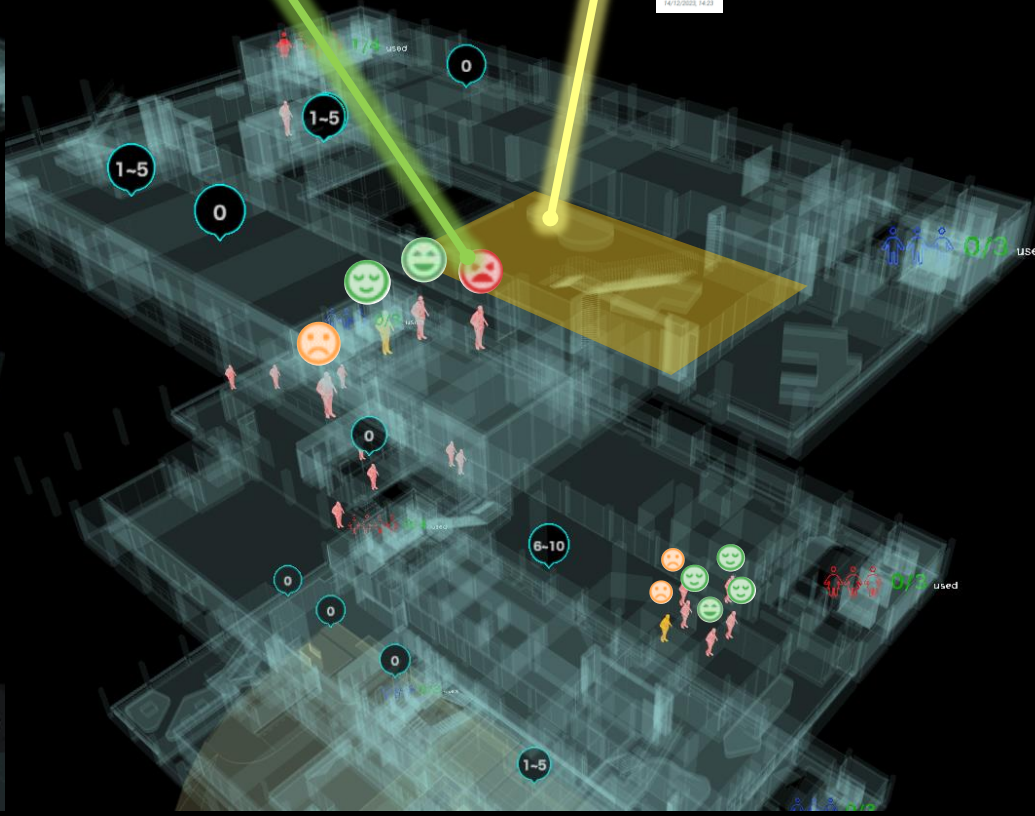
ストレス検知

Smart Ring

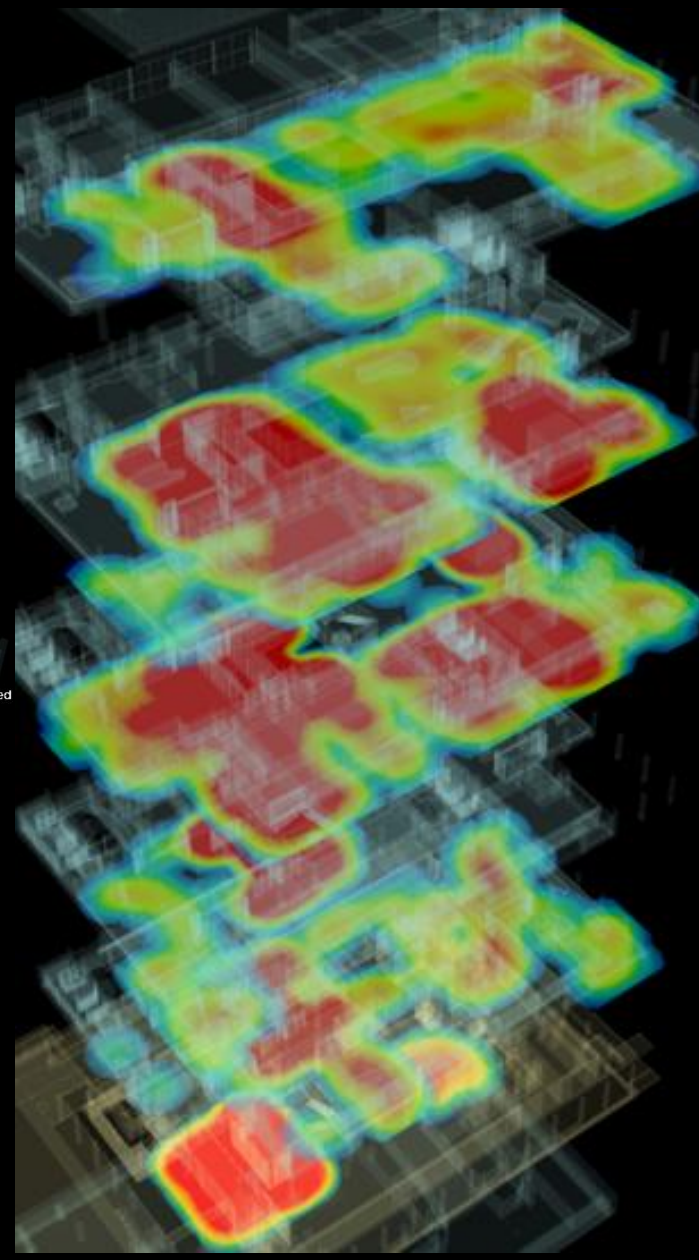
Beacon



データの蓄積とリアルタイムの表示

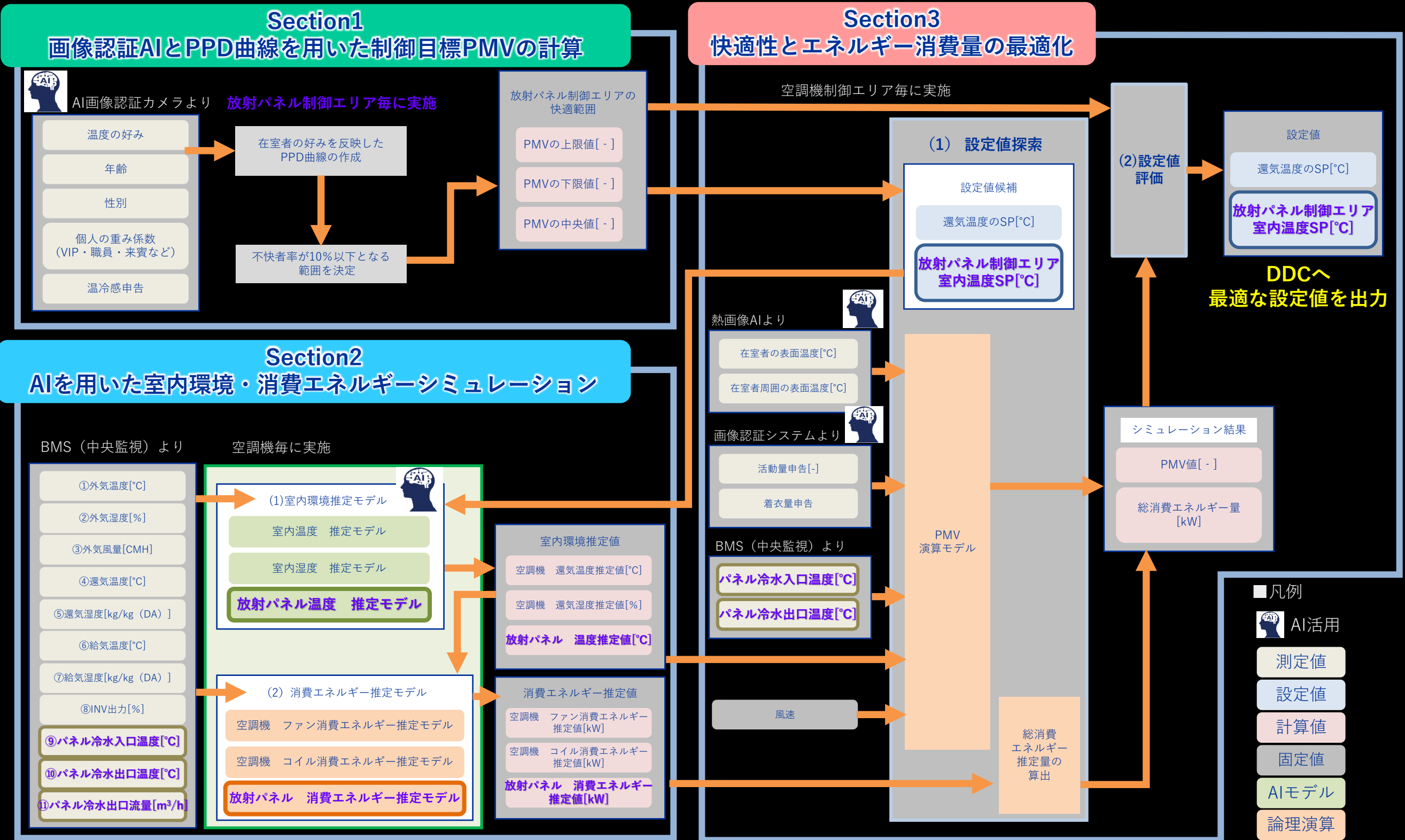


ビーコンやウェアラブルデバイスとの連携



人流解析、人流ヒートマップ

# 2 シンガポールの研究開発オフィスにおける適用 AI制御による快適性と省エネルギー性の高度な両立



**以上で本日の発表を終わります。**

**最後までお聞きいただきありがとうございました。**

100年をつくる会社

