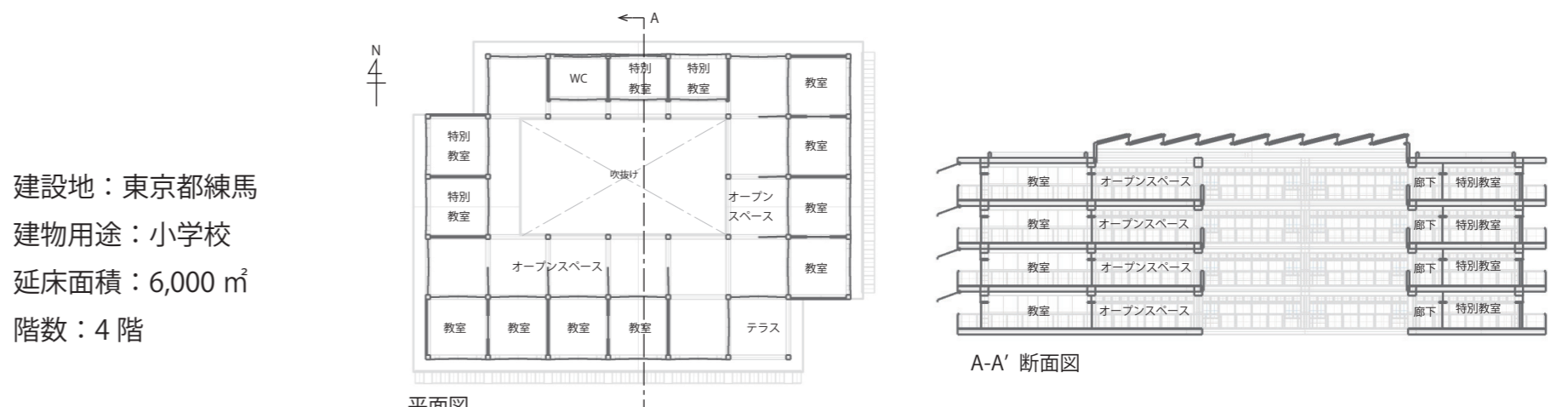


# 次世代環境建築にむけて - CFD と機械学習で実現する自然換気

自然換気検討においてCFD（数値流体力学）シミュレーションは、設計段階で温熱環境や環境を予測するために広く利用されている。しかし、計算コストが高いため、多様な設計変数を用いたシミュレーションを行うことが難しい。この課題を解決するために、機械学習を導入することで計算コストを抑え、設計時や運用時にさまざまな設計変数でシミュレーションを行う可能性を検討した。

※自然換気スタディモデルは、2023年社会人部門に応募したモデルを利用。自然換気予測に関して、課題でもある計算コストを下げる可能性を示すことで実プロジェクトへの展開を図る。



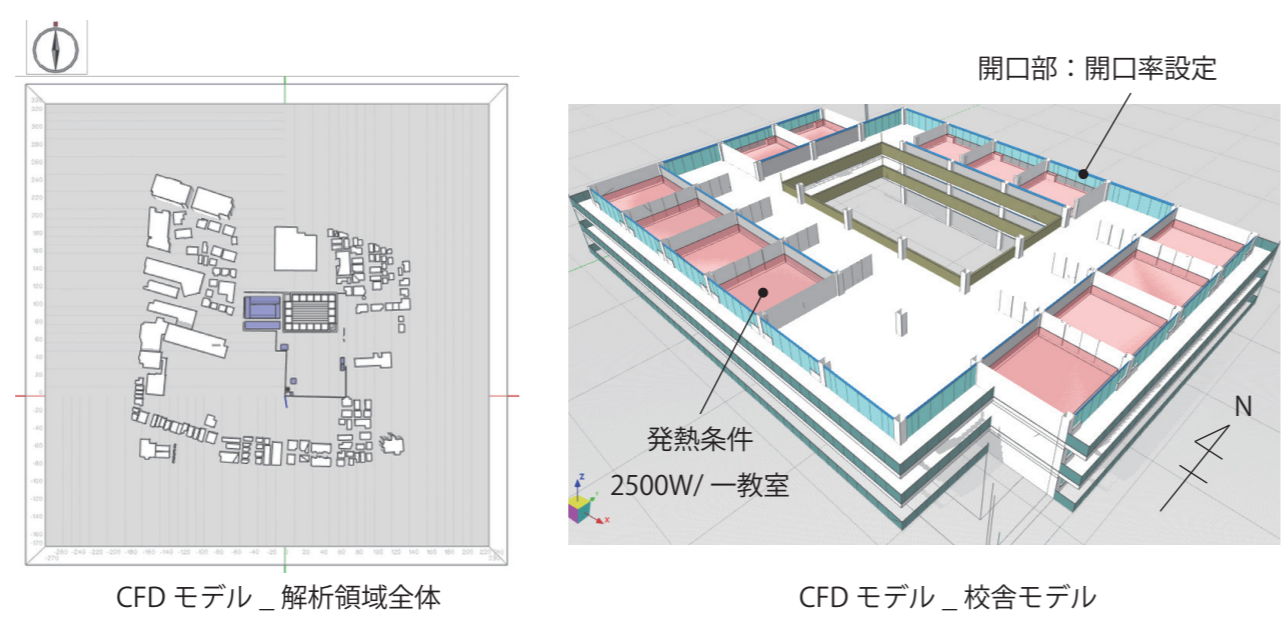
## CFDモデルの概要・機械学習モデルの作成方法

### ①CFDモデル概要

今回の自然換気スタディで利用した小学校モデルを左図に示す。4階建て、中央に吹き抜けとトップライトを有した小学校のプランである。

機械学習モデルを作成するにあたり、CFD解析境界条件は左下、各教室とトップライトの開口は右下のように開口率を指定した。

CFD解析境界条件	
乱流モデル	乱流/高レイノルズ数型k-εモデル
差分スキーム	一時風上
壁面境界	上面：free-slip 側面：自由出入 下面：べき乗則 壁面：一般化対数則
流入条件	外部：べき乗則流速
流出条件	外部：自由出入条件



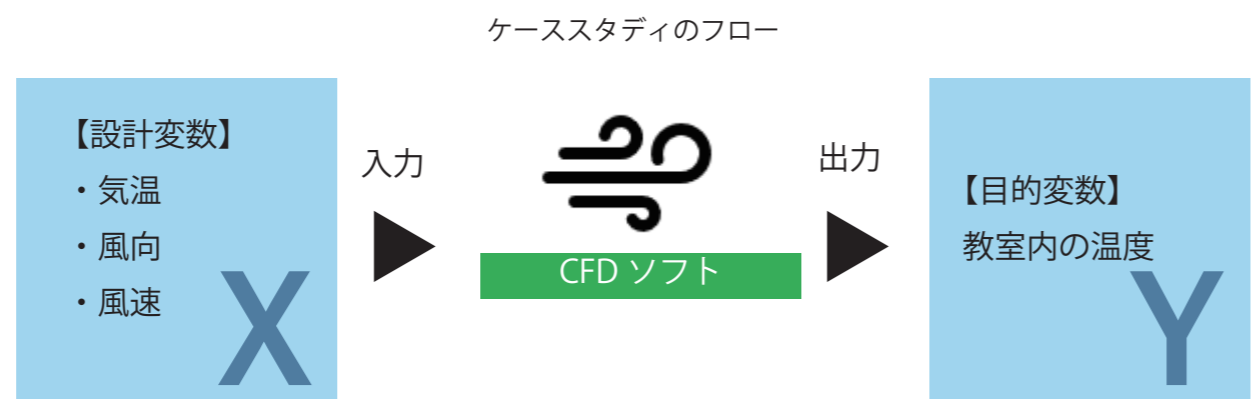
#### 換気口の開口条件

	北	南	西	東	トップライト
窓、欄間	50% OPEN	欄間のみ50% OPEN	欄間のみ50% OPEN	欄間のみ50% OPEN	25%

各階開口は手動、トップライトは天候に応じて自動開閉を想定

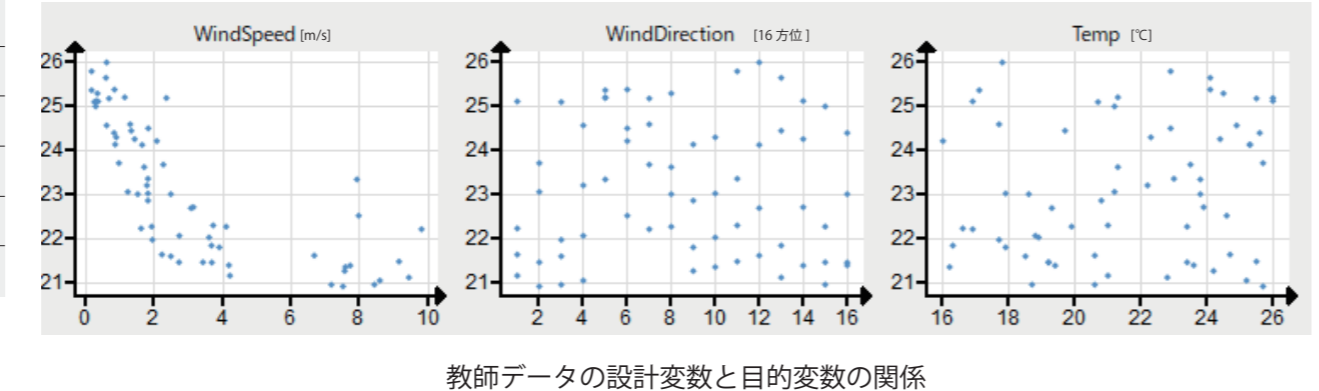
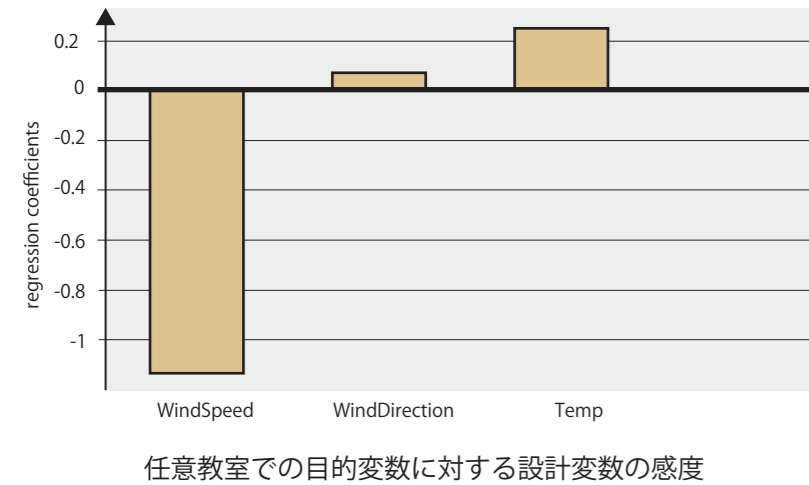
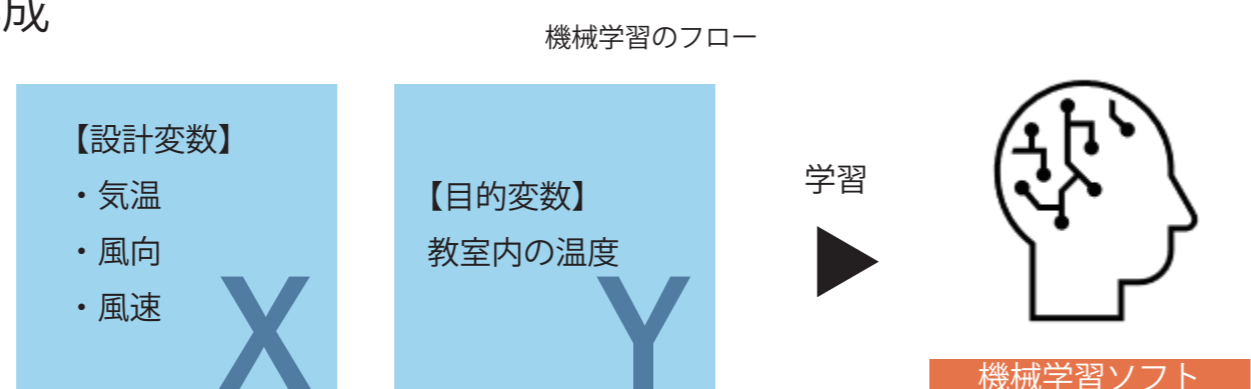
### ②CFDモデルを基にした教師データ作成（ケーススタディ）

機械学習モデルを作成するには「教師データ」が必要である。教師データを作成するにあたり、CFDモデルでケーススタディを行った。今回の自然換気シミュレーションで設計変数は【気温・風向・風速】とし、目的変数を【教室内の温度】とした。設計変数のパターンを数十パターン用意、解析を行い、設計変数のパターンに応じた結果の集計を行う。



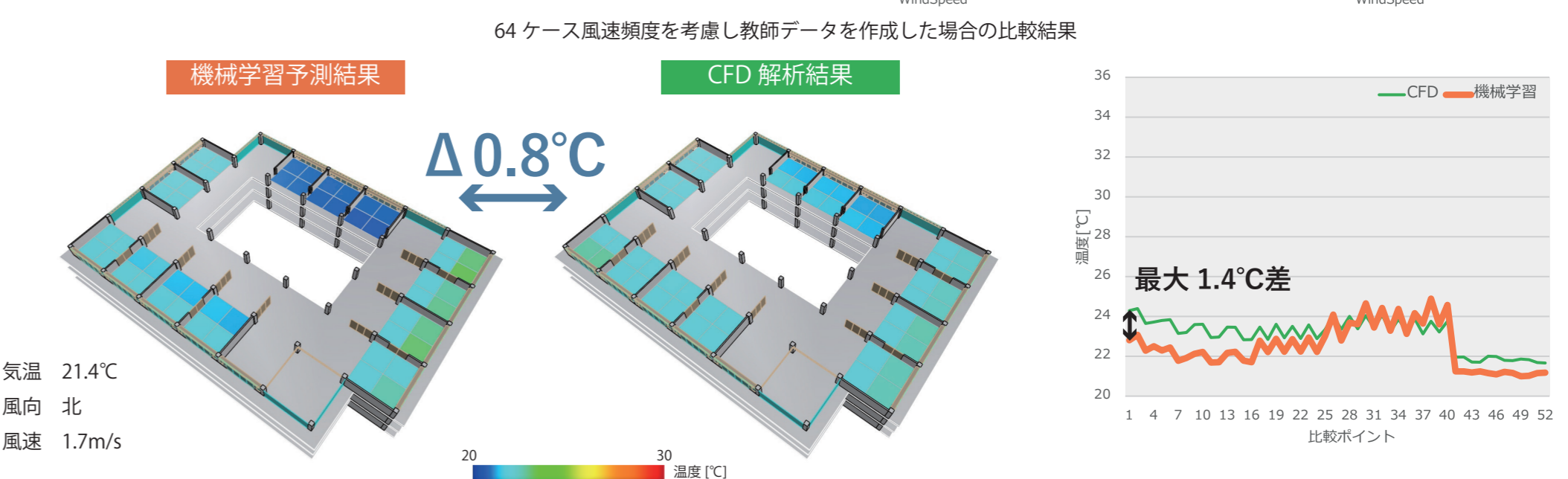
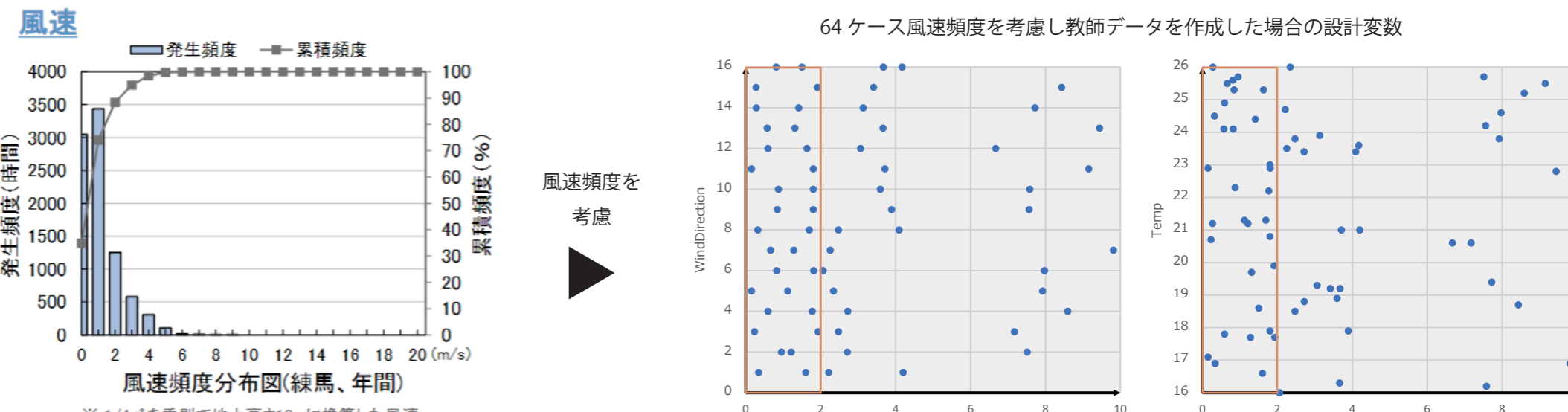
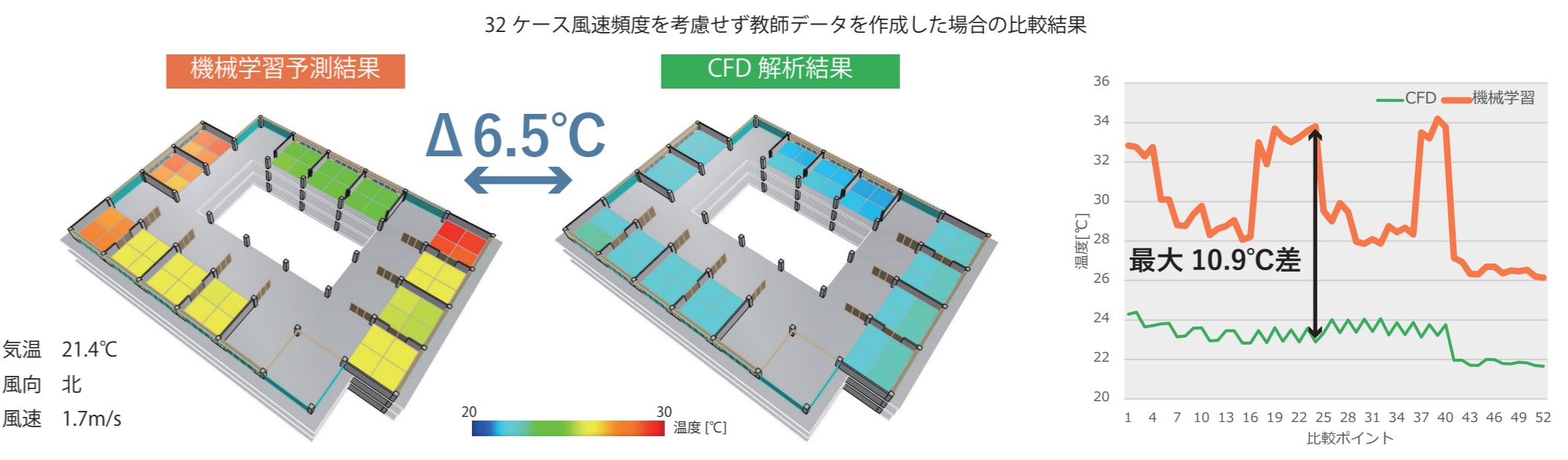
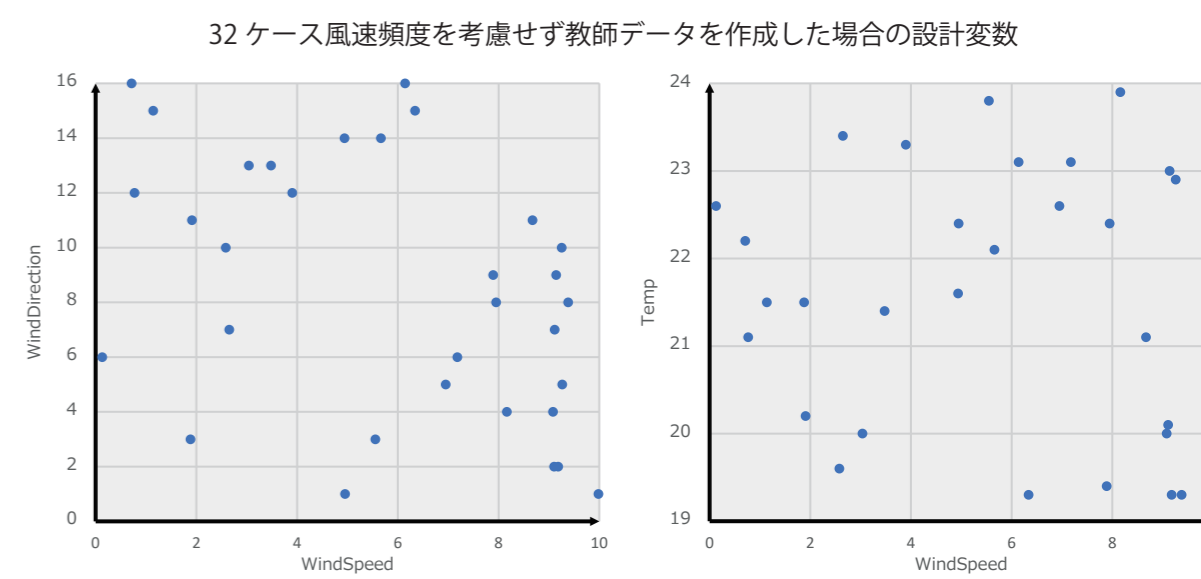
### ③教師データから機械学習モデルの作成

CFDモデルでケーススタディした結果を機械学習モデルに読み込ませると、機械学習モデルが完成する。この時点で目的変数に対する設計変数の【感度】を確認することが出来る。下図の例だと、風速が最も教室の温度に影響があり、風速上がるほど教室内の温度は下がる傾向にある。



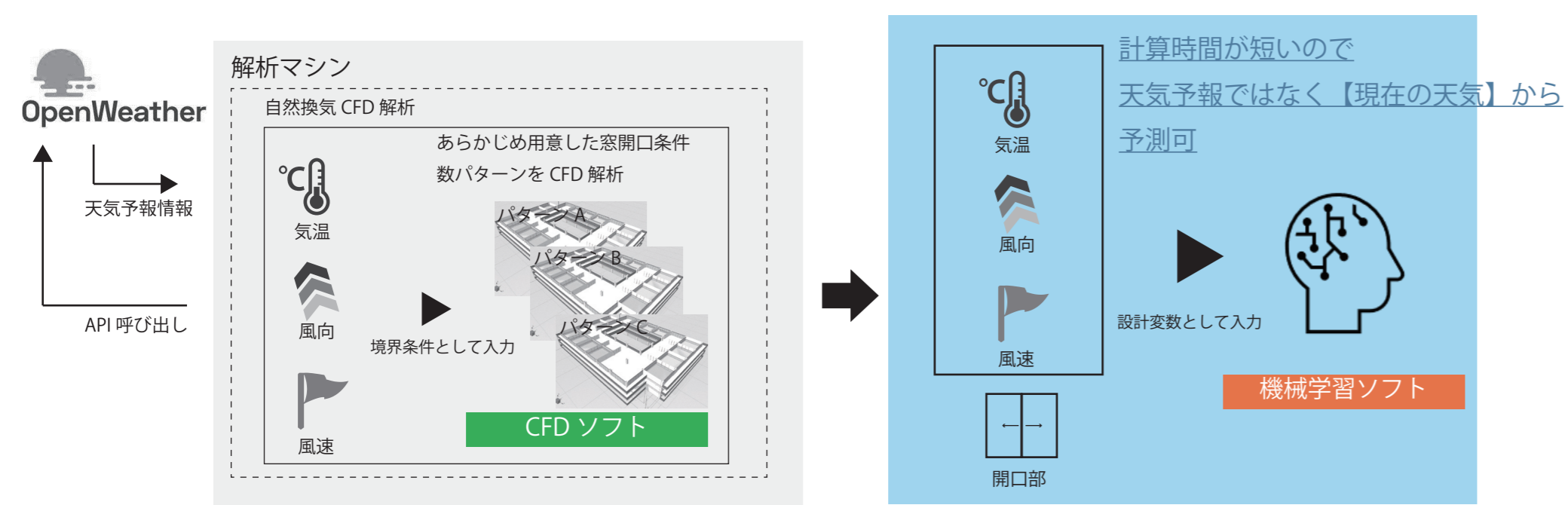
### ③機械学習予測結果とCFD結果の比較

機械学習の予測結果とCFD結果の比較を3F教室の温度を対象に行った。まず、教師データを32ケース（16風向×2パターン）、風速は0~10m/sの間で偏りが無いように作成を行った。その場合、機械学習の予測結果はCFD結果に比べ平均6.5℃の差があった。続いて、教師データを64ケースに増やし、風速頻度を考慮し0~2m/sの教師データの数を増やした。その場合、機械学習の予測結果はCFD結果に比べ平均0.8℃の差となり、機械学習でおおむね良好な予測が行えるようになった。



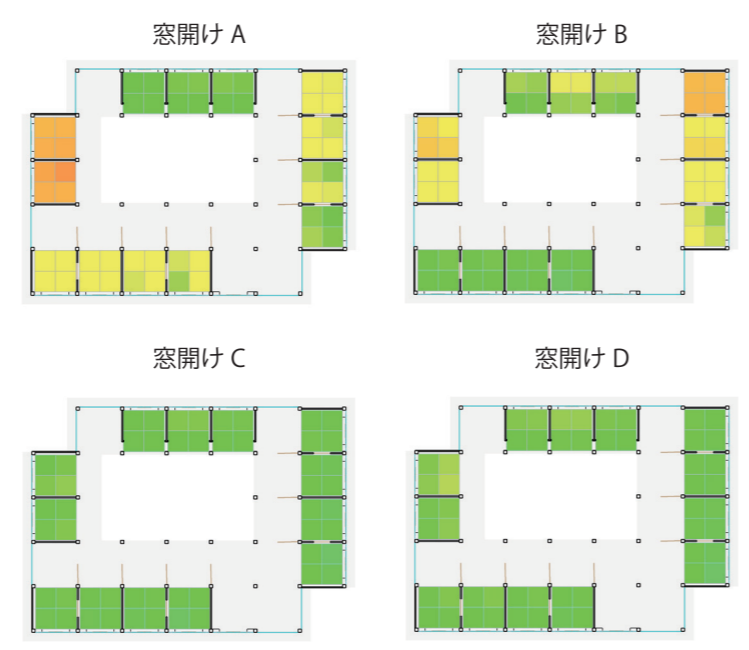
## 活用方法

### ①窓開けは児童で一運用時シミュレーションにおける活用



【課題】CFDシミュレーションは数時間かかる  
・境界条件は数時間前の天気予報（天気予報の精度の課題）  
・計算する窓開けケースに限られる

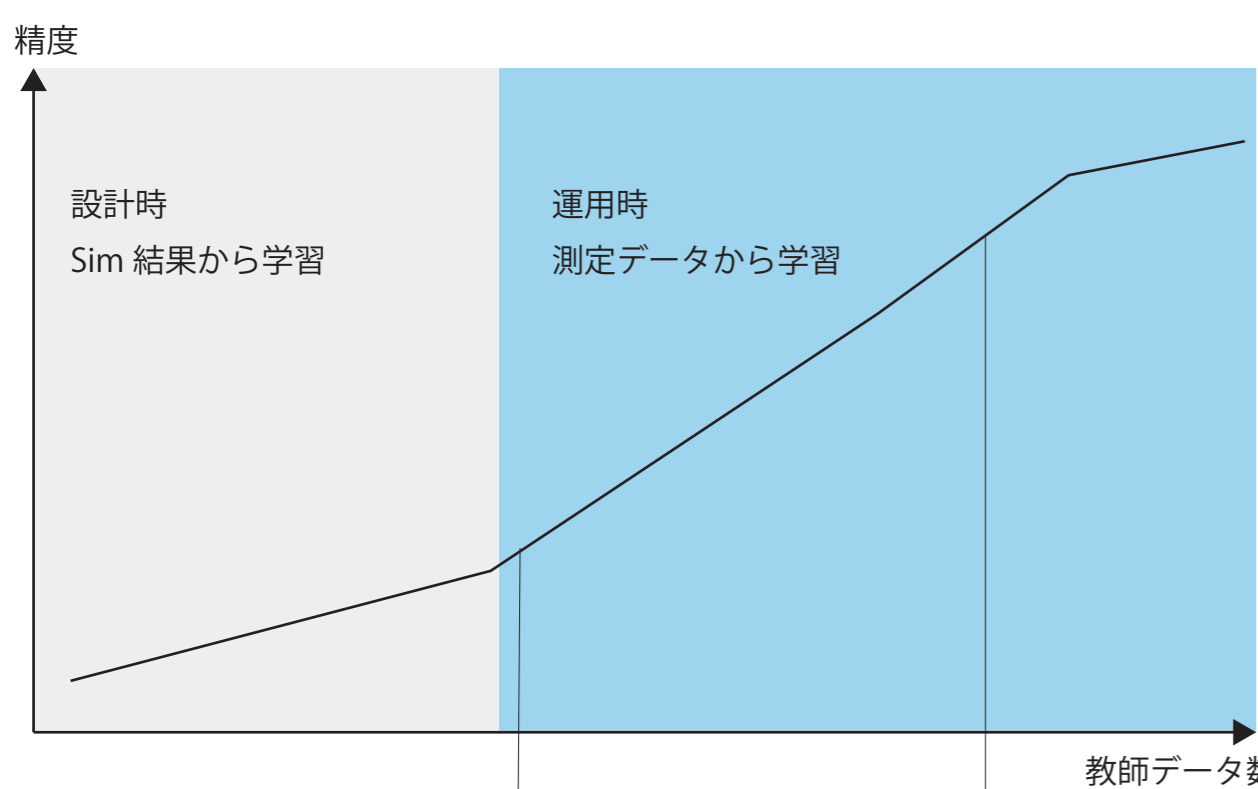
開口部を設計変数として増やすことで  
より多くのバリエーションの運用が可能



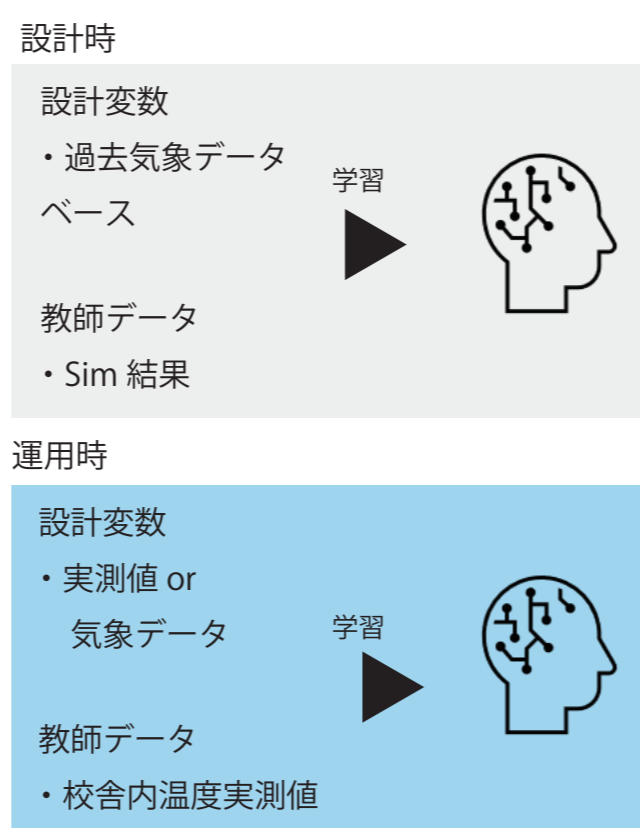
この時間は窓開けCにしよう

自然換気シミュレーションを運用時に利用することで積極的に窓開けを行ってもらうことが可能である。その場合、CFDシミュレーションを実施するためには解析システムの構築と予測時間の課題がある。そこで、機械学習を利用することで計算時間の課題が解決し、【現在の天気から予測可能】、【開口部を設計変数として増やせる】といった利点がある。

### ②運用データで予測精度を向上



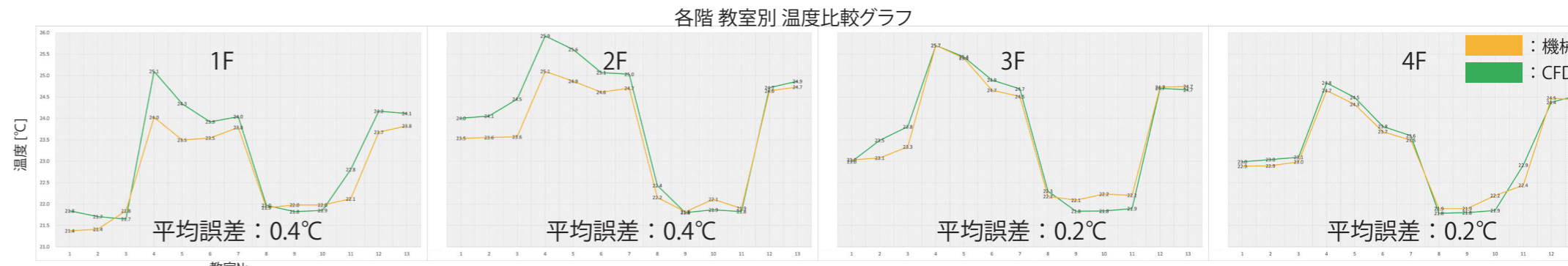
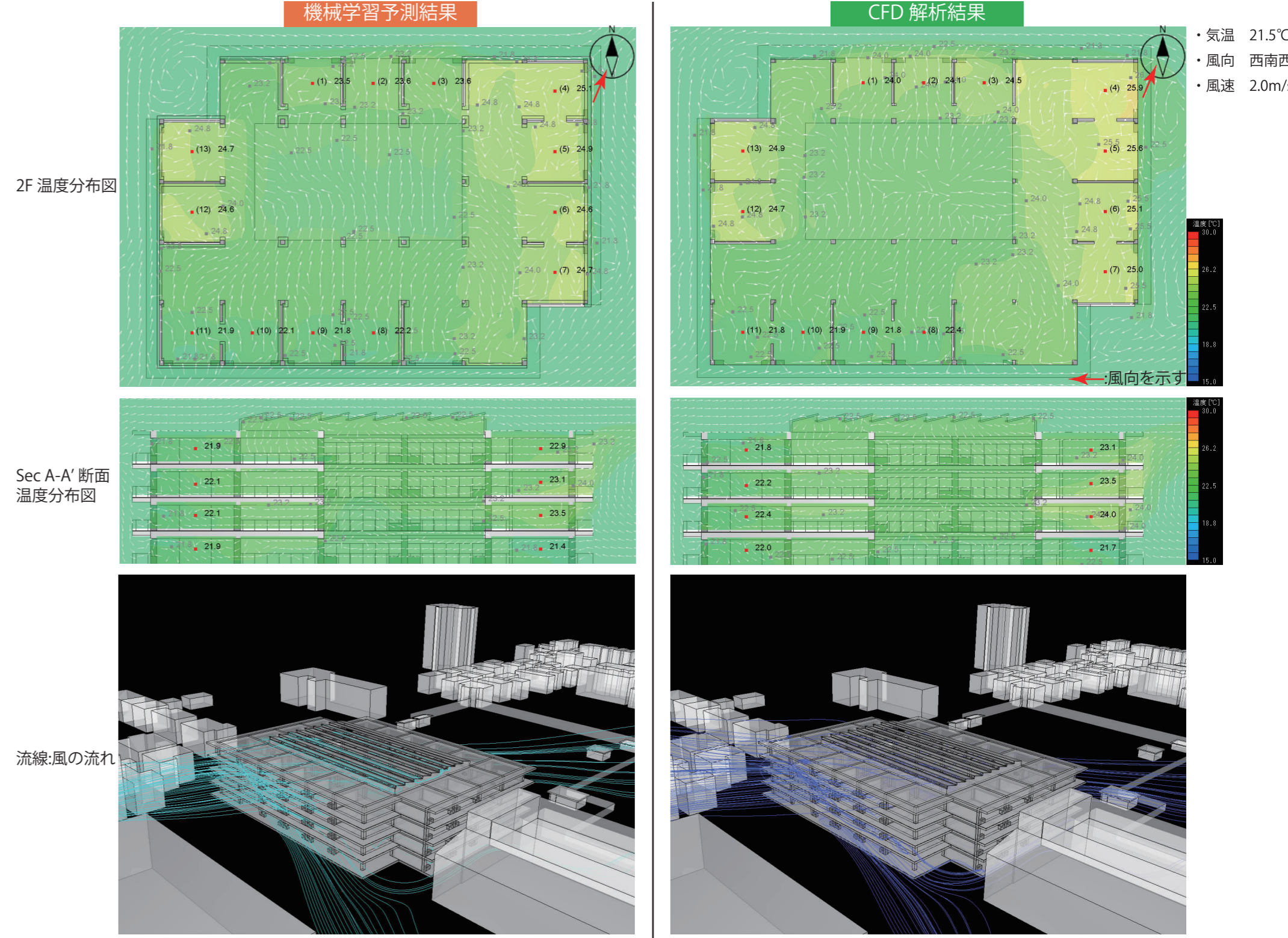
設計時はシミュレーション結果を教師データとした機械学習しか行えないが、運用時には実測値を教師データとした機械学習が可能である。教師データの数が増えて予測精度向上が見込めるほか、設計時には想定しえなかった外乱を考慮した学習が可能である。精度の高い機械学習はさらなる運用への活用や、今後の設計のデータベースとしての活用が考えられる。



運用初期は予測結果と実空間に差がある  
予測結果と実空間の差が少なくなりより運用に活かしてもらう

### ③空間全体の予測

CFDによる計算結果は、分割したセルの数だけ数値（温度、風向、風速など）を持っている。この3次元位置と数値を教師データとすることができれば、より分かりやすく、直感的な風の流れまでも予測できると考える。約70ケースのCFD結果を教師データとした機械学習の結果と、同じ条件でCFD解析した結果の比較を下図に示す。下図各階温度分布図は各教室の中心温度の誤差を示しているが、フロアによる多少の違いはあるがほぼ同じ結果となった。これは温度だけでなく、風の流れを示す流線でも同じであった。本解析モデルは、高スペック機器で1ケースの約3時間要したのに対し、機械学習データを使用することで1ケース約1分で同等の予測が可能となった。今回変数とした教室内部温度、気流、外部の風の流れについて、かなり高い精度で予測できることを確認できた。



予測結果はCFDと同じ精度で情報を持っているため、結果データを3D空間上に視覚的にマッピングしたXRを用いて、空間の温度や風の流れを直感的にイメージすることができる。これにより、設計チームだけでなく、クライアントや建物利用者（先生や児童）も設計の意図や効果を容易に把握できる。例えば、午後はこの教室に風がどのように入ってくるか、教室内部温度が何℃になるかなどを、実空間にタブレットをかざすことで予測結果を容易に確認することができる。これにより、建物全体が環境建築の優れた教材となる。

