

修士論文 2014 年度（平成 26 年度）

慶應型共進化住宅における環境シミュレーション  
の整合性検証

A study of usefulness of the environment  
simulation  
in the Keio-coevolving house

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科  
高城冬悟

# 修士論文 2014 年度(平成 26 年度) 慶應型共進化住宅における環境シミュレーションの整合性検証

## 論文要旨

近年、建築業界では、コンピューターの普及により、様々な解析シミュレーションを行うことができるようになってきた。解析シミュレーションを用いることにより、風や熱や光などの環境を可視化し把握することができ、たとえば、設計段階では、建物自体への風の影響や周辺環境へ及ぼす風環境の変化を検証したり、夏のときの温度分布や、どのように風が入ってくるのかを視覚的にチェックすることで、環境面での建物のデザインの最適化を図っている。

一方で、利用段階における環境シミュレーションの活用はまだ発展途上といえる本研究では環境シミュレーションの温熱シミュレーション数値と実際の住宅における室内温度実測値との整合性を検証する。どのように実測値とシミュレーション値を比較し、精度検証を行うかという比較手法の検討と比較検討による誤差の傾向分析をすることが目的である。どのような時にシミュレーションにおいて誤差が出やすいかということを検証することで、環境シミュレーションの有用性を把握するとともに、設計段階や利用段階における環境シミュレーションの適用可能性を探ることが本研究の目指すところである。

環境シミュレーションと実測値との比較をし、その傾向を統計的に分析しながら、段階的に設定を加えていくことで、誤差傾向を探っていく。

本研究では環境シミュレーションである Design Builder を用いて、熱収支解析を行うエネルギーシミュレーションと CFD 解析による 2 つのシミュレーションを連携させながら、検証を進めた。

本研究では CFD 解析による環境シミュレーションの有用性と整合性検証のための解析方法を提示した。

キーワード：環境シミュレーション、CFD 解析、精度、エネルギーシミュレーション

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科  
高城冬悟

Master's Thesis Academic Year 2014

# A study of usefulness of the environment simulation in the Keio-coevolving house

## Summary

Various analysis simulations can have been performed now by the spread of a computer by construction industry in recent years. We can visualize and understand the environment of the heat and the light by using an environment simulation. For example, we can change the building's design through analysing the wind environment and can plan the surroundings, optimize the design of the building with that environment.

On the other hand, the environment simulation technology is now developing. In my research, I study of the usefulness of the environment simulation by checking the consistency toward actual temperature in the Keio Co-Evolving House and it calculated by the environment simulation. I also study how we compare a numerical value by the environment simulation with the actual value in the house. I studied the method of the analysis to know the tendency of the error in the simulation.

By comparing the simulation data with actual data, analysing the tendency, and coordinating the simulation configurability by steps, we aim to know it.

I used the Design Builder, the simulation software, and cooperated it with Energy Plus which is energy simulation software.

I suggested the method to analysis the error tendency in my study.

Keyword: Environment Simulation, CFD analysis, precision accuracy, Energy Simulation

Graduate School of Media and Governance  
Keio University  
Togo Takagi

## 目次

### 第1章 序論

- 1-1 研究背景
  - 1-1.1 環境シミュレーションの動向
  - 1-1.2 ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス実証事業
  - 1-1.3 慶應型共進化住宅の設計
- 1-2 研究目的
- 1-3 既往研究と本研究の位置づけ
- 1-4 研究意義
- 1-5 慶應型共進化住宅概要
  - 1-5.1 設計コンセプト
  - 1-5.2 使用素材・機器

### 第2章 シミュレーション設定

- 2-1 環境シミュレーションソフト
  - 2-1.1 Design Builder
  - 2-1.2 Energy Plus
- 2-2 シミュレーションモデルの作成
  - 2-2.1 モデリング
  - 2-2.2 敷地設定
  - 2-2.3 構成部材設定
  - 2-2.4 気象条件設定

### 第3章 実測値分析

- 3-1 室内温度実測値の取得方法
  - 3-1.1 温熱センサー機器
  - 3-1.2 温熱センサー設置位置
- 3-2 実測値の整理方法
  - 3-2.1 実測値のグラフ化
  - 3-2.2 温度変化度合
  - 3-2.3 センサー順序
  - 3-2.4 センサー順序の傾向分析

### 第4章 整合性検証

- 4-1 検証手順
  - 4-1.1 シミュレーション手順
  - 4-1.2 検証の流れ
- 4-2 エネルギーシミュレーションによる比較検証
  - 4-2.1 解析条件
  - 4-2.2 解析結果
  - 4-2.3 差分値の算出
  - 4-2.4 日平均差分値の算出
- 4-3 CFD 解析による検証
  - 4-3.1 解析条件
  - 4-3.2 シミュレーション時間
  - 4-3.3 解析結果
- 4-4 CFD 解析（機器設定あり）による検証
  - 4-4.1 条件設定
  - 4-4.2 解析結果 1（PS ヒーター）
  - 4-4.3 解析結果 2（照明）
  - 4-4.4 解析結果 3（OM ソーラー）
  - 4-4.4 解析結果と考察 2

## 第 5 章 総括

- 5-1 結論
- 5-2 考察

## 参考文献

## 謝辞

## 付録

## 第一章 序章

## 1-1 研究背景

### 1-1.1 環境シミュレーションの動向

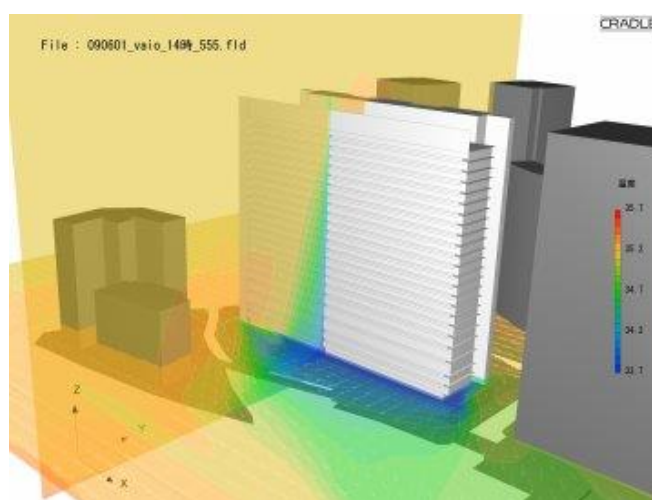
近年、建築業界では、コンピューターの普及により、様々な解析シミュレーションを行うことができるようになってきた。解析シミュレーションを用いることにより、風や熱や光などの環境を可視化し把握することができ、たとえば、設計段階では、建物自体への風の影響や周辺環境へ及ぼす風環境の変化を検証したり、夏のときの温度分布や、どのように風が入ってくるのかを視覚的にチェックすることで、環境面での建物のデザインの最適化を図っている。

日建設計ではソニー株式会社の「ソニーシティ大崎」の設計において温熱環境シミュレーションを導入している。ソニーシティ大崎では、都心部特有のヒートアイランド現象を抑制する「すだれ」状環境配慮型外装システム「バイオスキン」を開発した。これは多孔質の陶器管に雨水を流し、陶器管の表面に浸透した水が蒸発する際に生じる気化熱で、周辺の空気を冷却するという画期的な技術である。バイオスキンのプロジェクトでは、その効果について、ある条件下においてエンタランスの周辺温度が2°C程度下がるというシミュレーションを、実測データに基づいて行った。東京大学が行った装置実験で得られたデータ等をもとに、壁面全面にバイオスキンを取り付けた場合と半分にした場合など、さまざまに条件を変えながら、夏の卓越風時の周辺環境の温度変化をシミュレーションした。

特に近年では、省エネルギーやエコロジーへ向かう世界的なトレンドが生まれ、イニシャルコストとランニングコストの比較など、多くの解析結果を検証しながら、より効果的な省エネの建築物を目指す動きが強まっている。こうした、省エネを目指す企業の対外的アピールの重要性も増し、そのアピールを視覚的に行えるシミュレーション



図 1-1. ソニーシティ大崎



へのニーズも拡大しているといえる。

シミュレーションを使えば、たとえば煙突の排熱が外気取り入れ口にどれだけ影響があるのかなどといった、今までは見えなかった、わからなかったものを数値化して見ることができる。設計者が自分の手で解析ソフトを使い、温度だけでなくいろいろな指標を設計にフィードバックできるようになれば、設計支援ツールとして設計段階での利用が期待される。しかし、環境シミュレーションでは、境界条件の違いによって結果が大きく変わるため、本当にシミュレーションの値が正しい結果であるかということの検証が重要となる。シミュレーションの精度はまだ粗く、現段階では大型建築のほうが有効であり、住環境レベルの設計ツールとしてどのようにして精度を担保するかが早急な課題だと考えられる。また、設計段階のみならず、実際に設計された空間が環境的に意図されたものになっているかを検証することも重要な課題である。

### 1-1. 2 ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス実証事業

東日本大震災以降、エネルギーセキュリティに関する国民の関心は極めて高く、住宅についてもエネルギーを地産地消する、「ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）」への注目が高まっている。株式会社野村総合研究所は、経済産業省資源エネルギー庁の「平成25年度 住宅・ビルの革新的省エネ技術導入促進事業」の一環として、一般社団法人 環境共創イニシアチブからの受託により「ネット・ゼロ・エネルギー・ハウスの標準化に係る調査・実証事業」を実施した。国内の新築住宅市場は縮退傾向にあり、住宅関連産業の海外（特にアジア）への進出は不可避な状況にあることから、国内におけるZEHの高付加価値化と海外展開に向けて先端的な技術を有する大学等と、商業化のノウハウや顧客ニーズを有する民間事業者等によって、更なる技術開発を促進し、先進的なZEHの実証と、ZEHが今後備えていくべき要件や評価方法を標準化することが実証事業の主な目的であった。

### 1-1. 3 慶應型共進化住宅の設計

慶應型共進化住宅は平成25年度「ネット・ゼロ・エネルギー・ハウスの標準化に係る調査・実証事業」において、慶應義塾大学が提案した、次世代型エコハウスの呼称である。実証事業において慶應義塾大学 SFC は理工学部との連携による横断的な研究チームを立ち上げ、環境分野に注力する30社近い協力企業とコンソーシアムを結成した。家慶應義塾大学は、2013年8月から基本設計を進め、9月からは実施設計を行い、2014年1月には住宅が竣工（図1）。慶應共進化住宅は住宅内で使用するエネルギー消費量を徹底した省エネと創エネによってネット・ゼロにするだけでなく、建築用資材製造から数十年後の解体までのライフサイクルでのCO<sub>2</sub>収支を最終的にマイナスにする「ライフサイクルカーボンマイナス（LCCM）」を目指した環境住宅であり、日本国内では例の少ないCLTパネル工法による住宅の設計、最新の設備機器と環境制御技術の連携技術などを取り入れられている。慶應型共進化住宅は2014年7月から、事業で建設された実験住宅をそのまま慶應義塾大学湘南藤



沢キャンパス敷地内に解体移設し約1年間の実証実験を行う。年間を通じた実際の居住実験による環境性能実験データを取得し、実際の生活状態における先進的な環境制御やエネルギー管理手法と健康維持効果や快適性、効率性などの実践的データとユーザー評価を取得分析する。

2014年8月からは、関係者によって住宅が使われ始め、エアコンなどの機器が稼働し始めた。8月後半からは宿泊実験も開始され、断続的に宿泊データがとれ始めた。



## 1-2 研究目的

住宅の設計段階ではなく、住宅の利用段階においては環境シミュレーションの活用は少ない。本研究では環境シミュレーションの温熱シミュレーション数値と実際の住宅における室内温度実測値との整合性を検証する。どのように実測値とシミュレーション値を比較し、精度検証を行うかという比較手法の検討と比較検討による誤差の傾向分析をすることが目的である。どのような時にシミュレーションにおいて誤差が出やすいかということを検証することで、環境シミュレーションの有用性を把握するとともに、設計段階や利用段階における環境シミュレーションの適用可能性を探ることが本研究の目指すところである。

### 1-3 既往研究と本研究の位置づけ

既往研究では、『1分間隔の室温シミュレーション法の精度検証』（王福林 2006 年）や『室内温熱環境シミュレーションツールの開発（第1報）シミュレーションの精度検証結果』（鈴木智博ほか 2009 年）、『暖房時の居室を対象とした CFD の精度検証—一床暖房・エアコンディショナ使用時の室内における LES、RANS の比較—』（小野浩己、酒井孝司 2010 年）、『住宅の夏季の熱環境に関する実測とシミュレーションとの比較検討』（宇田川光弘ほか 1997 年）などの精度検証の事例がある。しかし、対象の空間は簡易な立方体の箱内の温熱環境での精度検証や、居室・洋室などの単体の部屋のみを対象とした温熱シミュレーションのみである。

本研究の対象住宅を慶應型共進化住宅である。慶應型共進化住宅では、床下段差による室内温度の調整、日本で数少ない CLT 工法による設計、HEMS による室内環境制御・最新設備の導入、実際に人が生活するなど、より複雑な条件下での検証となる。設計段階での環境シミュレーションはそういったさまざまな条件を排除し、簡易化した条件設定の場合が多く、そもそも環境シミュレーションが生活に即した条件下において、どの程度有効であるかといった検証は現在不十分である。

本研究では、環境シミュレーションの中でも室内温度を対象として整合性を検証していく。

### 1-4 研究意義

将来的には、環境シミュレーションと HEMS の融合による、天気予報のような HEMS の利用が考えられる。現在の室内の温熱環境から、環境シミュレーション上で数時間後の熱溜まりの場所や温度を予想し、住まい手に窓の開ける時間や空調の設定を予め Recommend するようなシステムである。このように室内環境を先読みすることで、省エネで快適な賢い住まい方が実現可能となる。これを実現するためには、利用時の住宅の室内環境実測値と環境シミュレーションの整合性を検証していくことが課題である。本研究では、その第一段階として、実測値との比較手法を検討し、誤差傾向と誤差の改善方法を検討する。

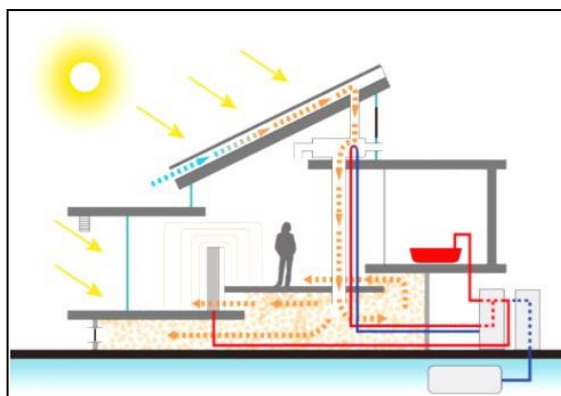
## 1-5 慶應型共進化住宅概要

### 1-5.1 設計コンセプト

慶應型共進化住宅は、真ん中を食事空間として、その回りの四方に4つのスペースを配置し、適度な自然通風や自然採光がどこでも得られるようにドアで空間を仕切らない一体空間として設計した。慶應型共進化住宅はどのスペースも安定した太陽エネルギーの効率的な利用ができるように、屋根傾斜方向方位を建物の対角線軸に設定している。(下図)

また、慶應型共進化住宅は平屋でありながら、あえて床にレベル差を設けてレベル差部分を床下の蓄熱空間からの熱損失の少ない換気や、放射冷暖房の放熱体スペースとすることで、家全体の一体感と空間的な変化を両立させている(図)。確保された床下は配管工事を容易にし、蓄電池や熱源などの設備収納スペースとしても活用される。慶應型共進化住宅はOMソーラーのシステムを用いており、床下には日中屋根面で暖められた空気を下を送り、蓄熱体で貯めるというコンセプトを提案した。

床段差を設けた理由のひとつに、一体でありながら、少しずつ熱環境の異なる空間を作り出そうという意図がある。人は個人によって暑さ・寒さを感じる感覚が異なるため、温熱環境がすべて均質な空間ではなくあえて温度差を少し作り出すことで、人が居場所を自ら選択できるような空間を設計した。





### 1-5.2 使用素材・機器

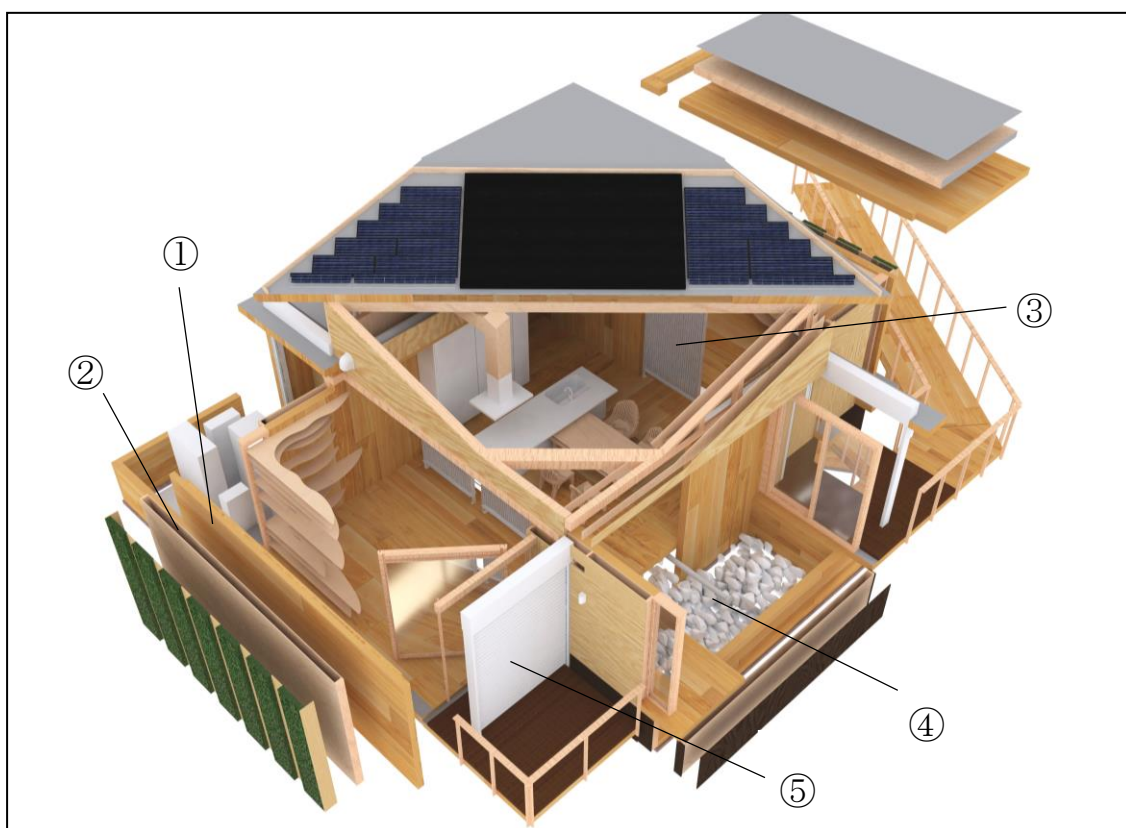
ここで慶應型共進化住宅に用いられている主な使用素材および機器を記す。

#### ①CLT (Cross Laminated Timber)

木材の建材としての資源利用が二酸化炭素の固定と生産時のエネルギー削減の両面から効果的なだけでなく、国産杉材の需要を確保が持続可能な森林保全を促進して環境を保護する重要な要因であり、近年 CLT (Cross Laminated Timber) が注目を浴びている。CLT は厚さ 20mm 程度の幅はぎ材を直行方向に重ね合わせた積層接着パネルで間伐材なども利用可能である。



また、CLT は比較的小規模な建築に採用する場合、他の施工方法と比べ、非常に短期間での組み立てを可能にするという優位性を持つ。これは、CLT が T 字型に組んでからボルトで接合というシンプルな工法を基本としているためであり、この工法ゆえに解体も非常に容易である。壁式構造の堅牢な建物が比較的簡易に移設・再利用できるようになることは、資源の消費抑制にもつながり、建築のリユース性の高める可能性を持っている。



②セルロースファイバー

断熱材セルロースファイバーは新聞古紙からリサイクルされて生産される。断熱材として、CLT の室外側に取り付けられる。製造エネルギーすなわち CO<sub>2</sub> の排出量が非常に少なく、LCCM 住宅に相応しい材料である。



③蓄熱石

床下には屋根面で暖められた空気が送られる。太陽熱を蓄熱しておく蓄熱体となる素材が床下に必要になる。コンクリートによる基礎はエネルギーの消費量が大きいため、可能であれば別な素材に置き換える事が望ましい。墓石や石垣などの加工時に生み出されて廃材となる花崗岩の自然石を蓄熱体として活用する。現在でも廃石材はコンクリートのリサイクルなどに使われてはいるが、より効果的に低炭素化に貢献することができる。



④PS ヒーター

自然対流と放射によって部屋全体を暖める。天井が高い大空間を効率的に暖めることが可能。また、床の段差部分に設置することによって、空間を緩やかに分ける。



⑤外付けブラインド

外からの視線を遮りながら、通風、遮光、採光ができ、外からプライバシーを守りつつ、開放感を得ることができる。窓の外側で太陽輻射熱をカット（外断熱）することにより、室内側に設置された一般のブラインド（内断熱）と比べて、約 3 倍の大きな断熱効果を得る。

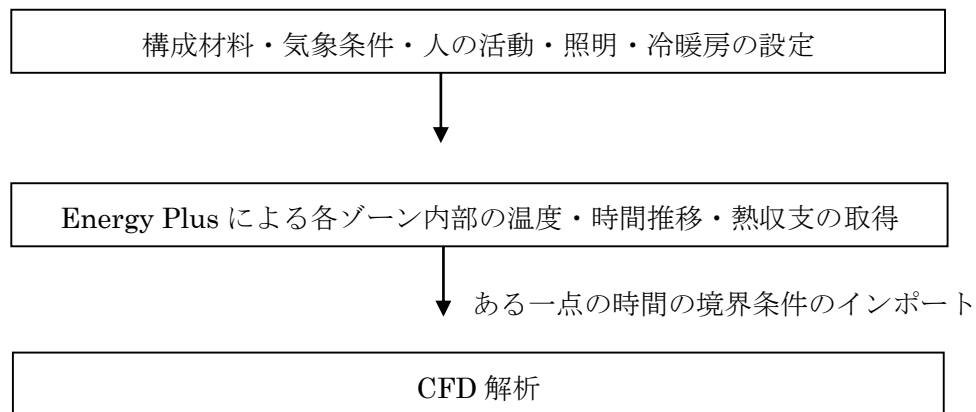
## 第二章 シミュレーション設定

## 2-1 環境シミュレーションソフト

### 2-1.1 Design Builder

Design Builder は、イギリス Design Builder 社により開発された建築シミュレーションソフトである。米国エネルギー省開発の建物エネルギーシミュレーションプログラムである EnergyPlus8.1 と連動することによって、建物の時間的推移の室内温度・日射取得・熱収支・CO2 排出量などを計算することができる。Energy Plus による日射取得や熱収支の計算によって得られる建物の境界条件を用いることで、CFD（数値流体力学：Computational Fluid Dynamics）により、建物内外の空気の流れ、温度分布をシミュレーションできる。Energy Plus はゾーン同士および外部からの熱収支を計算するため、その結果はゾーン（部屋）ごとの出力となる。ゾーン内のある特定の箇所の温度を精度よく予測するためには CFD による解析が必要となる。

Design Builder によるシミュレーション手順はだまかに以下のようになる。



本研究では、Energy Plus によるゾーンごとの温度・時間変化のシミュレーションと CFD 解析によるセンサーポイントのシミュレーションの2つのシミュレーションを扱う。

ここで Design Builder における CFD 解析の計算方法・解析条件を以下に記す。

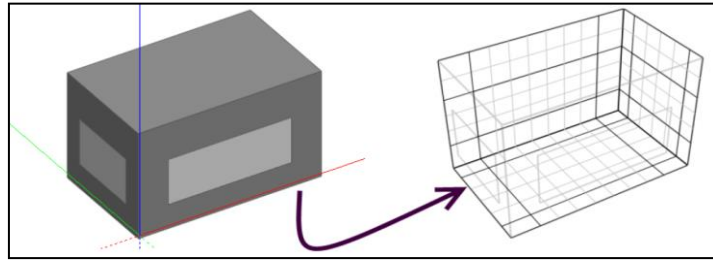
#### 定常状態計算

Design Builder における CFD 解析は定常状態の場合である。定常状態とは、初期状態を室内の空気温度を一様だと仮定し、この初期状態から、境界条件による熱移動を計算し始め、部屋温度が安定した一定状態のことをいう。これに対し、温度が上昇・下降しつつある過渡的な状態のことを非定常状態とよぶ。

#### 解法：SIMPLE 法

離散化手法: FVM (有限体積法:  
Finite Volume Method)

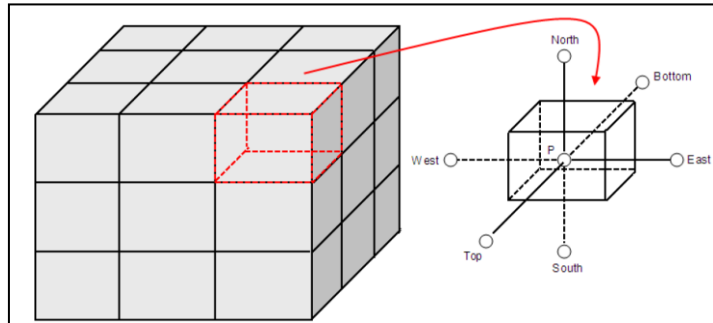
FVM は、対周防空間を多数の要素に分割し、メッシュ分割したセルについて積分を行い、積分形で表現された差分形式の基礎方程式を解くものである。



(図)

乱流モデル: 標準  $\kappa - \varepsilon$  モデル

流体の流れには掃流状態と乱流状態の 2 つの状態があるが、一般的な室内の気流は乱流である。 $\kappa$  とは乱流エネルギーであり、 $\varepsilon$  は  $\kappa$  の消散率である。



移流項差分スキーム: 1 次風上差分

風上側の値を使って差分を行う 1 次精度の離散化法であり、幅広く利用されているスキームである。

## 2-1.2 Energy Plus

Energy Plus は、米国陸軍建設研究所により開発され 1970 年代後半に公開された BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) と、米国エネルギー省により開発され 1980 年代始めに公開された DOE -2 に基づいて、新たに開発されたモジュール方式より構築された建物エネルギー消費量計算プログラムである。

Energy Plus は 1.建物外皮の熱負荷計算用シミュレーションプログラム、2.室内温・湿度及び流体質量バランス計算用シミュレーションプログラム及び 3.空調システムのエネルギー消費量計算用シミュレーションプログラムの 3 つの部分に分けられる。

以下に Energy Plus の主な機能と特徴を示す。

気象データの形:

NREL の TMY2 に基づいた、Energy Plus と ESP -r に共通の EPW 形式、

壁体の熱伝達計算方法:

2 次元状態空間法による熱伝達伝導計算



地表面熱伝達計算：

3次元有限差分土間モデルにより地表面熱伝達を計算

ゾーンの熱バランス計算方法：

壁体の瞬時熱伝達特性、HVACシステムとゾーンの熱バランスの相互影響を可変時間ステップで計算

ゾーンの熱的混合の計算：

温度差及び指定された混合空気量による隣接ゾーン同士の熱的混合モデル

各種の付属計算機能：

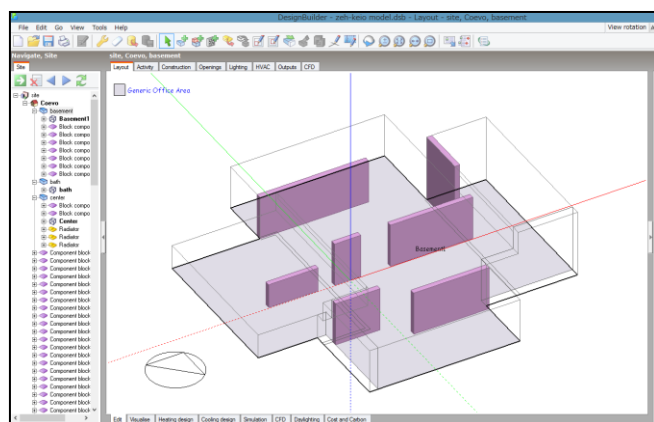
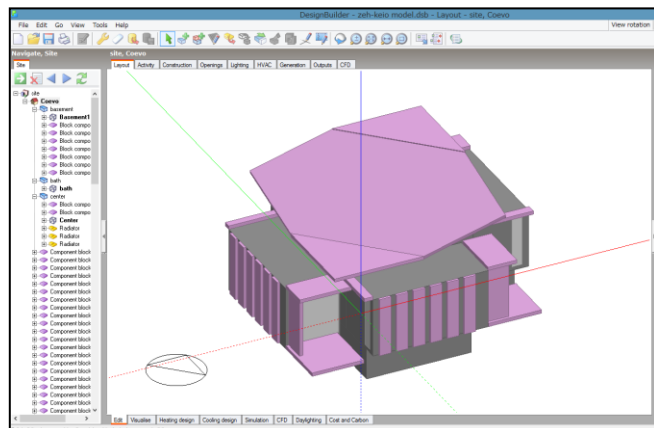
熱と物質伝達の連成解析モデル、PMVモデル、目光制御計算、汚染物質計算、2次元輻射壁モデル、換気計算モデル

## 2-2 シミュレーションモデルの作成

### 2-2.1 モデリング

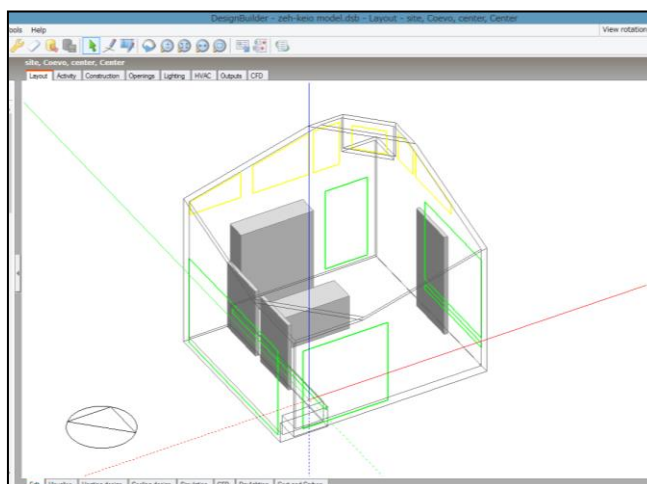
Design Builderにてモデリングを行った。寸法は実施図面に即してモデリングを行っている。

シミュレーションでは空間をゾーンで定義しなければならないため、直方体のビルディングブロックによってモデリングを行った。モデリングと実際の壁パネル工法とは寸法上若干のズレが生じる箇所もあるが、誤差は100mm以内である(天井高さ等にズレはない)。また、画面上で紫色に見えるのは底部分であり、日射遮蔽のためのコンポーネントブロックを用いた。ゾーンは、それぞれ、スペース1、スペース2、スペース3、センター、風呂場、床下の6つのゾーンで構成した。床下には基礎パネルを再現するため、庇と同様にコンポ



ーネットブロックを配置している。  
また、内部空間は食器棚 (配管スペース) と、キッチンのみコンポーネントブロックを配置している。

また、床下の段差部分は実際には合板によって塞がれ、30mm ほどの隙間しかない。しかし、CFD 解析の予備実験の段階で、空気の流れが確認できなかったため、150mm と補正を行った。



### 2-2.2 敷地設定

敷地設定は以下のとおりである。

緯度：35.43

経度：139.65

海拔：42m

地面設定：

日射反射率：0.2

地面温度：18℃

地下温度：14℃

### 2-2.3 構成部材設定

構成部材の設定値を以下に記す。

部位	材料	Conductivity	Special heat	Density	Thickness	U-Value	R-Value
		伝導率	比熱	密度	厚さ	U 値	熱抵抗値
		(W/m-K)	(J/kg-K)	(kg/m3)	(m)	(W/m2-K)	(m2-K/W)
外側壁パネル	断熱材	0.07	1260	50	0.12		
	CLT	0.21	1600	500	0.15		
	合計値				0.27	0.385	2.599

部位	材料	Conductivity	Special heat	Density	Thickness	U-Value	R-Value
		伝導率	比熱	密度	厚さ	U 値	熱抵抗値
		(W/m-K)	(J/kg-K)	(kg/m3)	(m)	(W/m2-K)	(m2-K/W)
室内側壁パネル	CLT	0.21	1600	500	0.15	1.131	0.884

部位	材料	Conductivity	Special heat	Density	Thickness	U-Value	R-Value
		伝導率	比熱	密度	厚さ	U 値	熱抵抗値
		(W/m-K)	(J/kg-K)	(kg/m3)	(m)	(W/m2-K)	(m2-K/W)
大屋根	CLT	0.21	1600	500	0.15		
	断熱材	0.04	1260	50	0.12		
					0.27	0.259	3.854

※大屋根の断熱材の厚さは実際には 180mm であるが、モデリングの都合上、熱伝導率を調整することで、U 値を変更した。

部位	材料	Conductivity	Special heat	Density	Thickness	U-Value	R-Value
		伝導率	比熱	密度	厚さ	U 値	熱抵抗値
		(W/m-K)	(J/kg-K)	(kg/m3)	(m)	(W/m2-K)	(m2-K/W)
床下基礎	コンクリート	1.6	800	2400	0.25	2.73	0.366

部位	材料	Total solar transmission	Direct solar transmission	Light transmission	U-Value
		日射透過率	直達日射透過率	光透過率	U 値
窓	トリプルガラス (旭硝子フローティングガラス 4 mm+空気層 8 mm)	0.699	0.627	0.739	1.893

#### 2-2.4 気象条件設定

気象データは気象庁観測のアメダス気象データを用いる。また、Design Builder での気象データは EPW 形式である。以下に EPW 形式で扱われる気象データの内、アメダスデータで扱われるデータを示す。

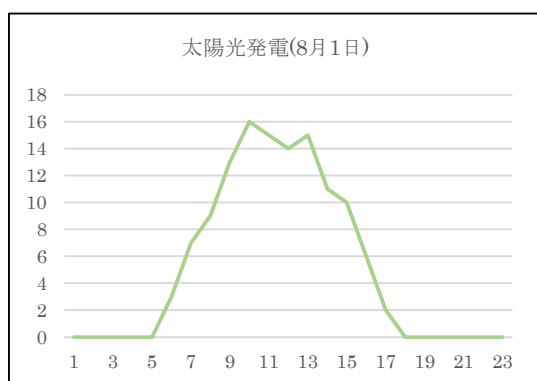
EPW 形式		アメダス気象データ
日本語	英語	
年	Year	○
日	Month	○
月	Day	○
時	Hour	○
分	Minute	○
データソースと不確実性フラグ	Data Source and Uncertainty Flags	
乾球温度(C)	Dry Bulb Temperature (C)	○
露点温度(C)	Dew Point Temperature(C)	○
相対湿度	Relative Humidity	○
気圧(Pa)	Atmospheric Station Pressure(Pa)	蒸気圧(hPa)
大気圏外水平放射量(W h/m2)	Extraterrestrial Horizontal Radiation (Wh/m2)	
大気圏外直達放射量(W h/m2)	Extraterrestrial Direct Normal Radiation (Wh/m2)	

天空赤外放射(Wh/m <sup>2</sup> )	Horizontal Infrared Radiation from Sky(Wh/m <sup>2</sup> )	
全天水平日射量(Wh/m <sup>2</sup> )	Global Horizontal Radiation(Wh/m <sup>2</sup> )	
直達日射量(Wh/m <sup>2</sup> )	Direct Normal Radiation(Wh/m <sup>2</sup> )	
拡散水平放射量(Wh/m <sup>2</sup> )	Diffuse Horizontal Radiation(Wh/m <sup>2</sup> )	
全天水平照度(lux)	Global Horizontal Illuminance(lux)	
直達照度(lux)	Direct Normal Illuminance(lux)	
拡散水平照度(lux)	Diffuse Horizontal Illuminance(lux)	
天頂輝度(Cd/m <sup>2</sup> )	Zenith luminance(Cd/m <sup>2</sup> )	
風向(度)	Wind Direction(degrees)	○
風速(m/s)	Wind Speed(m/s)	○
多いか隠された空の総量(雲に限らない)	Total Sky Cover	
天空を完全に覆い隠す雲の総量	Opaque Sky Cover	
視程(km)	Visibility(km)	○
雲底高度(m)	Ceiling Height(m)	
現在気象観測	Present Weather Observation	
現在気象コード	Present Weather Codes	
可降水量(mm)	Precipitable Water(mm)	
エアロゾル光学深さ(千)	Aerosol Optical Depth(thousandths)	
積雪(cm)	Snow Depth(cm)	
最後の降雪からの日数	Days Since Last Snowfall	

気象庁観測の気象データには、慶應型共進化住宅が立地する藤沢の気象データは存在しないため、本研究では海老名市の気象データを用いる。

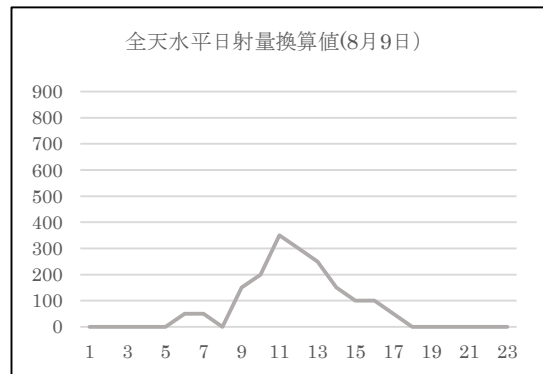
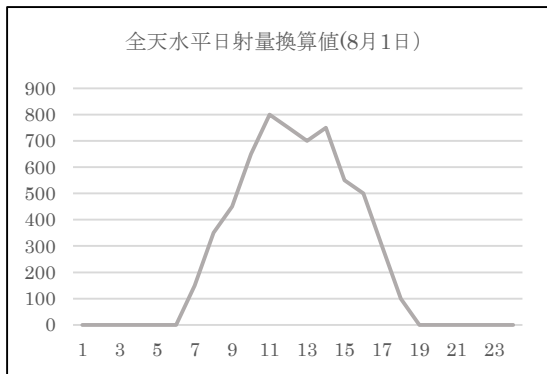
また、海老名市の乾球温度（外気温度）と慶應型共進化住宅に導入されている OM ソーラーの外気温データとを照合し、海老名市の乾球温度が現地の温度とほぼ同一であることを確認した（別図 2 参照）。OM ソーラーの外気温度を利用しなかったのは、取得できない日時があったこと、取得データが整数値のみであるという理由からである。また、アメダス気象データにはない設定項目は全日一律とした。

日射に関しては、慶應型共進化住宅の太陽光発電量を参照し、全天水平日射量に換算、それを直達日射量と拡散水平放射量に分離した。以下、その手順を記す。



①太陽光発電量は図1（縦軸＝発電量：単位[10W]、横軸＝時刻）のように表される。全天水平日射量は、設置場所の緯度、季節による太陽高度、パネルの傾斜角及び方位によって変わるが、太陽電池が受ける日射量は傾斜面日射量であるため、太陽光発電量から全天日射量を算出するのは手間がかかる。このため、本研究では簡易的に最大太陽光発電量から全天水平日射量を算出する。

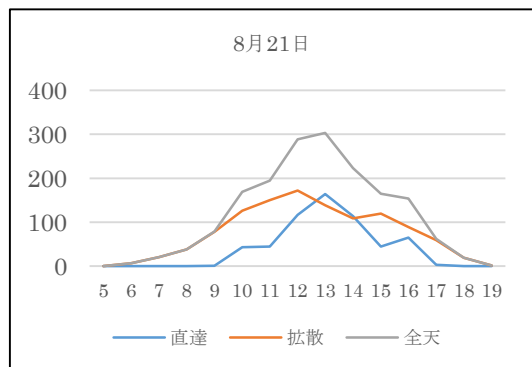
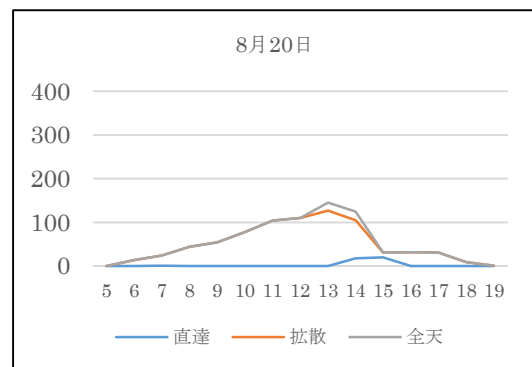
夏の全天水平日射量のおおよその最大値である  $900 \text{ W/m}^2$  に太陽光発電量最大値を換算し、その倍数だけ、すべての太陽光発電量を等倍する。ここで、 $\text{発電量} = \text{システム容量} \times \text{日射量} \times \text{損失係数} (\%)$  と表すことができる。発電ロス、夏で20パーセントほどであるため、冬（11月・12月分）の全天水平日射量は換算値 $\times 0.8$ として算出した。



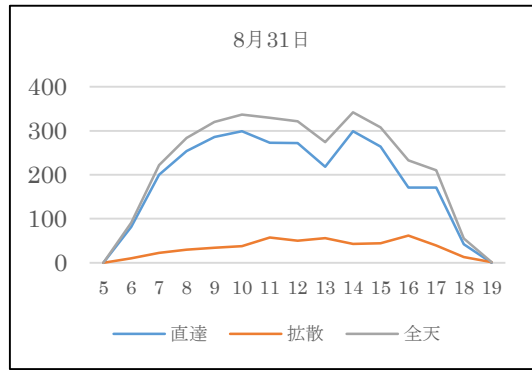
## ②直達日射量と拡散水平放射量の算出

全天水平日射量は直達日射量と拡散水平放射量に分けられるが、全国的にこれらの数値を計測しているデータはないため、札幌市の過去の全天水平日射量における直達日射量と拡散水平放射量の割合の平均値を算出し、その割合値を太陽光発電量から換算した全天水平日射量に当てはめた。

札幌市の8月と10月における全天水平日射量における直達日射量と拡散水平放射量の割合の傾向を分析し、日の最大全天水平日射量によって直達日射量と拡散水平放射量の割合の傾向が異なることから、全天水平日射量の日最大値が0以上300未満の場合、 $300 \text{ W/m}^2$ 以上  $800 \text{ W/m}^2$ 未満の場合、 $800 \text{ W/m}^2$ 以上の場合で



1日の時間ごとの平均割合値を算出した。右図（縦軸＝日射量[0.01 MJ/m<sup>2</sup>]、横軸＝時間）はその3パターンを表しており（全水平日射量の日最大値が0以上300未満[8月20日]、300W/m<sup>2</sup>以上800W/m<sup>2</sup>未満の場合[8月21日]、800W/m<sup>2</sup>以上の場合[8月31日]）、全水平日射量の日最大値が0以上300W/m<sup>2</sup>未満の場合、直達日射はほぼ0になり、全水平日射量と拡散水平放射量はほぼ等しくなる。全水平日射量の日最大値が300W/m<sup>2</sup>以上800W/m<sup>2</sup>未満の場合、朝方は拡散水平放射量が多く、正午すぎに直達日射量が増え始める。全水平日射量の日最大値が800W/m<sup>2</sup>以上の場合、直達日射量の割合がほぼ8割近くを占める。



ここで割り出した、1日の全水平日射量における直達日射量の割合を示す。

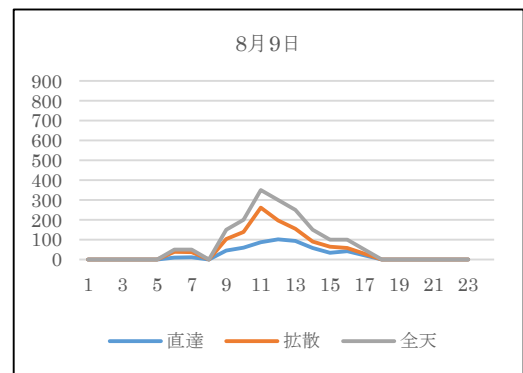
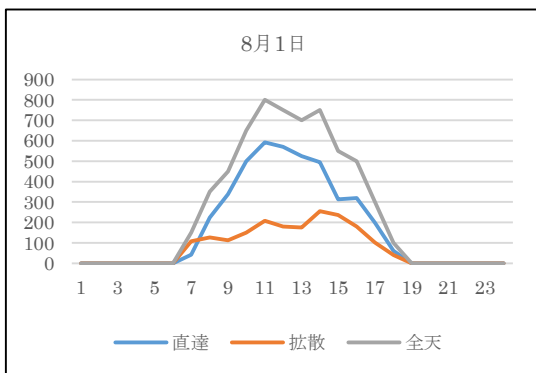
	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時
1	0.19	0.22	0.25	0.29	0.31	0.25	0.34	0.38	0.39	0.35	0.42	0.42	0.29	
2	0.28	0.64	0.75	0.77	0.74	0.75	0.66	0.57	0.64	0.66	0.6	0.66	0.65	0.24

1＝全水平日射量の日最大値が300W/m<sup>2</sup>以上800W/m<sup>2</sup>未満の場合

2＝全水平日射量の日最大値が800W/m<sup>2</sup>以上の場合

※全水平日射量の日最大値が0以上300W/m<sup>2</sup>未満の場合は、直達日射は0とする。

上記の表の数字を、①で換算した全水平日射量に乘算することで、シミュレーション期間（8月～12月）の全水平日射量・直達日射量・拡散水平放射量を簡易に算出した。



## 第三章 実測値分析

### 3-1 室内温度実測値の取得

#### 3-1.1 温熱センサー機器

セイコーインスツル株式会社の温度・湿度計測センサーを用いる。センサー機器の概要を以下に記す。

製品名：

温・湿度ノード

型番：

SW-4210-1202 1202

温度測定：

測定範囲：-10～+60℃

測定精度：±0.4℃（5～60℃）  
±0.7℃（-10～5℃）

湿度測定：

測定範囲：20～90%RH

測定精度：±5%RH

測定周期：

1分/5分/10分

外形・重量：

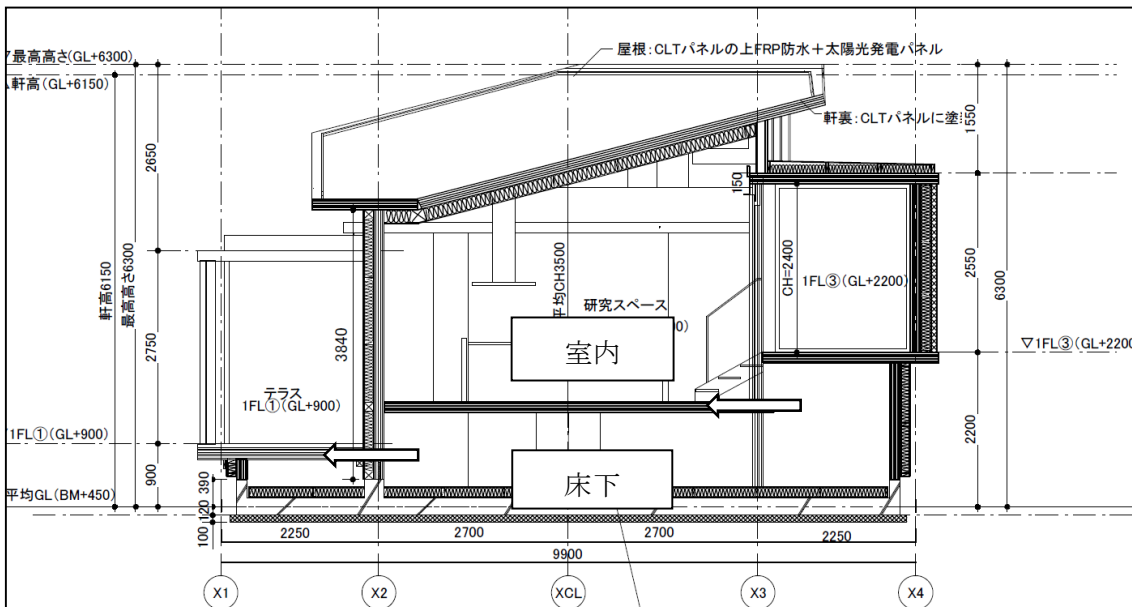
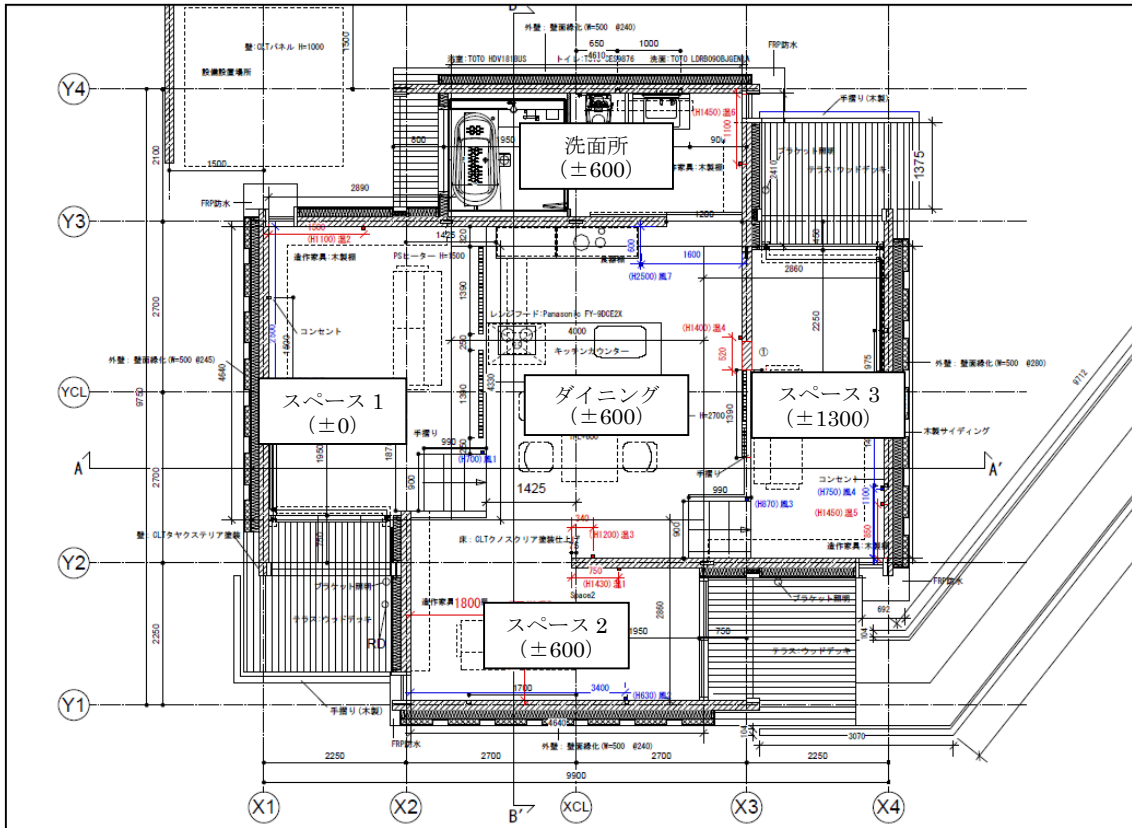
83×84×26mm、124g





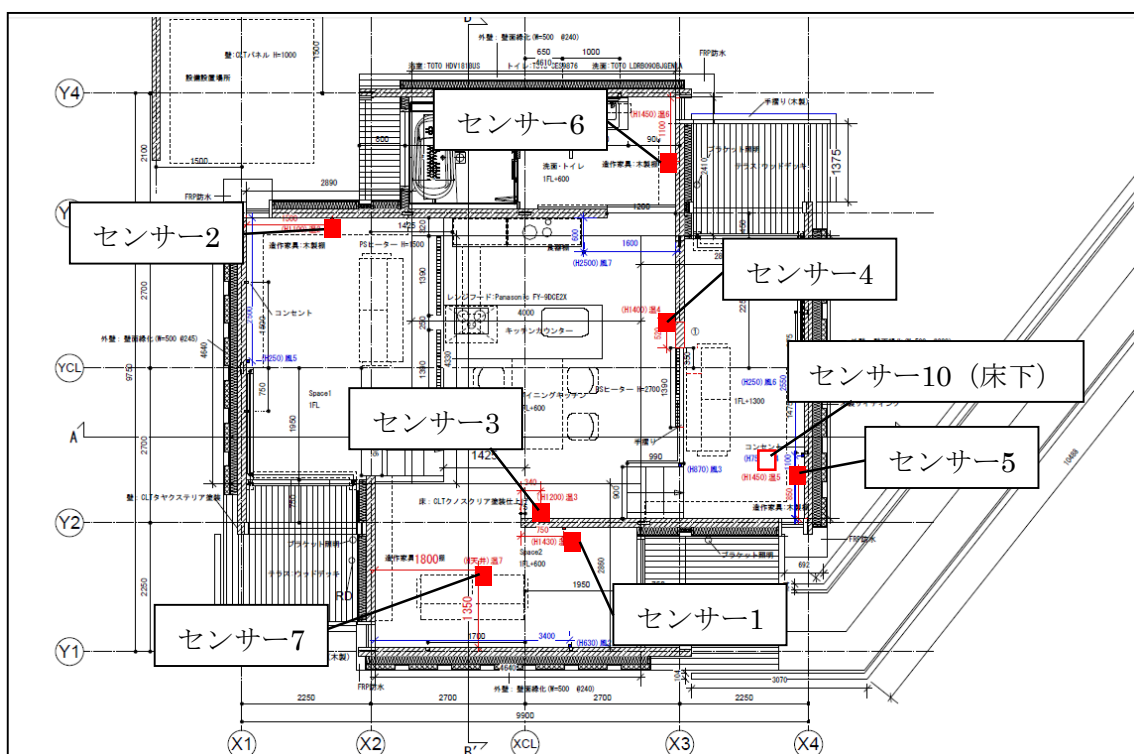
3-1.2 温熱センサー設置位置

各部屋の名称を以下に記す。



センサーの設置位置・高さは以下のとおりである。(下図参照)

センサー1	スペース 2、センター側壁(床から 1430mm)
センサー2	スペース 1(床から 1100mm)
センサー3	ダイニング、スペース 2 側壁(床から 1200mm)
センサー4	ダイニング、スペース 3 側壁(床から 1400mm)
センサー5	スペース 3(床から 1450mm)
センサー6	洗面所(床から 1450mm)
センサー7	スペース 2(天井:床から 2400mm)
センサー8	OM 立下りダクト内部
センサー9	蓄熱体下
センサー10	床下スペース(蓄熱体表面)



### 3-1.3 その他のセンシング項目

慶應型共進化住宅で得られるセンシング項目のうち、本研究を行うにあたり、使用・参照したセンシング項目は以下のとおりである。

- ・ OM ソーラー立下りダクト内(センサー8)の風速・温度 (m/s)  
→OM ソーラー稼働時間の算出
- ・ 太陽光発電量 (0.1kW) →全天日射量の算出
- ・ PS ヒーター使用電力量 (W) および使用時間
- ・ エアコン使用電力量 (W) および使用時間

- ・ Co2 濃度 (ppm) →人の在室の有無のチェック
- ・ 照明使用電力量 (W)および使用時間→人の在室の有無のチェック

### 3-1. 4 実測値の取得期間

2014年8月1日～12月10日までの期間のうち、取得した実測データは、センサー・サーバーの不具合等により、下記の91日間である。

2014年8月3日、8月6日～11日、8月22日～9月6日、9月17日～9月27日、10月1日～10月7日、10月10日～11月6日、11月11日～11月12日、11月14日～11月17日、11月20日～11月26日、11月28日、12月1日～12月3日、12月5日～12月6日、12月8日～12月10日

### 3-2 実測値の整理方法

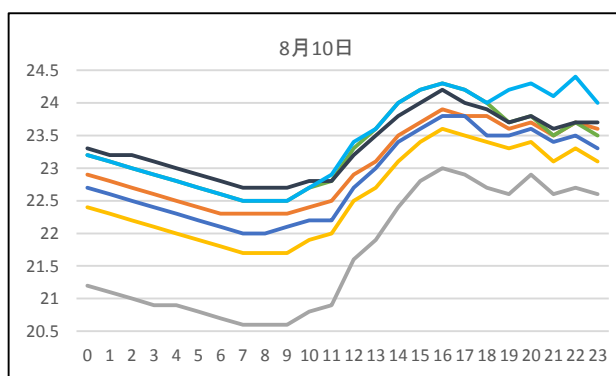
#### 3-2. 1 実測値のグラフ化

取得した実測値は1分間隔でサーバーに蓄積されるが、蓄積されたデータをCSV形式で取り出し、1時間毎に取り出し、1時間間隔のデータに編集した。(図)

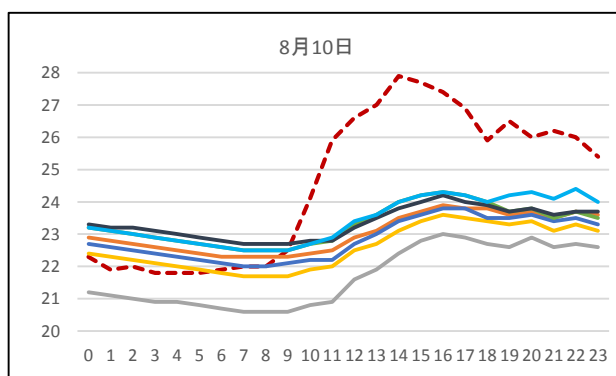
時刻	外気温	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー9	センサー10	ダクト温度	PS ※1	PS ※2	エアコン※3	エアコン※4	照明	太陽光発電
0	22.3	22.9	21.2	22.4	22.7	23.2	23.3	23.2	24.4	24.4	23.2						
1	21.9	22.8	21.1	22.3	22.6	23.1	23.2	23.1	24.4	24.4	23.1	529	0	0	0	0	0
2	22	22.7	21	22.2	22.5	23	23.2	23	24.4	24.3	23	529	0	0	0	0	0
3	21.8	22.6	20.9	22.1	22.4	22.9	23.1	22.9	24.5	24.3	22.9	528	0	0	0	0	0
4	21.8	22.5	20.9	22	22.3	22.8	23	22.8	24.5	24.2	22.8	529	0	0	0	0	0
5	21.8	22.4	20.8	21.9	22.2	22.7	22.9	22.7	24.5	24.2	22.6	528	0	0	0	0	0
6	21.9	22.3	20.7	21.8	22.1	22.6	22.8	22.6	24.5	24.2	22.6	533	0	0	0	0	3
7	22	22.3	20.6	21.7	22	22.5	22.7	22.5	24.5	24.2	22.5	527	0	0	0	0	3
8	22	22.3	20.6	21.7	22	22.5	22.7	22.5	24.5	24.2	22.5	540	0	0	0	0	4
9	22.5	22.3	20.6	21.7	22.1	22.5	22.7	22.5	24.4	23.9	22.5	537	0	0	0	0	8
10	24.1	22.4	20.8	21.9	22.2	22.7	22.8	22.7	24.3	23.7	22.7	548	0	0	0	0	8
11	25.9	22.5	20.9	22	22.2	22.8	22.8	22.9	24.2	23.6	23	564	0	0	0	0	6
12	26.6	22.9	21.6	22.5	22.7	23.3	23.2	23.4	24.1	23.6	23.4	566	0	0	0	0	8
13	27	23.1	21.9	22.7	23	23.6	23.5	23.6	24.1	23.6	23.7	576	0	0	0	0	5
14	27.9	23.5	22.4	23.1	23.4	24	23.8	24	24	23.6	24.1	579	0	0	0	0	8
15	27.7	23.7	22.8	23.4	23.6	24.2	24	24.2	23.9	23.6	24.3	579	0	0	0	0	8
16	27.4	23.9	23	23.6	23.8	24.3	24.2	24.3	23.9	23.7	24.4	570	0	0	0	0	3
17	26.9	23.8	22.9	23.5	23.8	24.2	24	24.2	23.9	23.6	24.2	555	0	11	10	33	2
18	25.9	23.8	22.7	23.4	23.5	24	23.9	24	23.8	23.5	24	553	0	10	77	535	0
19	26.5	23.6	22.6	23.3	23.5	23.7	23.7	24.2	23.8	23.5	23.6	550	0	0	103	535	0
20	26	23.7	22.9	23.4	23.6	23.8	23.8	24.3	23.8	23.5	23.6	550	0	0	91	535	0
21	26.2	23.5	22.6	23.1	23.4	23.5	23.6	24.1	23.7	23.4	23.1	559	0	0	68	535	0
22	26	23.7	22.7	23.3	23.5	23.7	23.7	24.4	23.7	23.5	23.4	559	0	0	106	534	0
23	25.4	23.6	22.6	23.1	23.3	23.5	23.7	24	23.6	23.4	23.1	555	0	0	76	535	0

※1 冷房専用チラー ※2 熱交換器 ※3 スペース 1 ※4 スペース 3

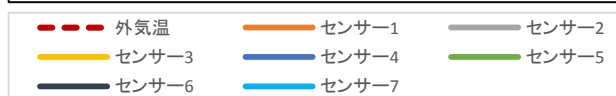
8月10日における実測値をグラフ化した(右図)。外気温の温度と同じくして、室内気温も変化していることが分かる。実測データは人の活動や・照明・エアコンなどの稼働がない限り、ほぼ外気温と同じ変化をたどる。



17時ころからセンサー7が他のセンサーよりも高くなるが、これは照明の影響と考えられ、天井付近には熱がたまっていると考えられる。



また、センサー2は住宅内において一番低い箇所に設置してあるため、当然ながら、一番低い温度で推移する。住宅内の高低差を考えれば、センサーの温度は高い順に、センサー7>センサー5>センサー1≒センサー3≒センサー4≒センサー6>センサー2の順番になるはずである(3章 図~参照)。



センサー6は洗面所に設置されており、洗面所の引き戸が閉められると、熱の移動が減り、PSヒーターにより室内温度が下がる一方、その影響を受けないままであるため、比較的高い値となっていると考えられる。引き戸の開閉状況はセンシングされていないため、出力されたデータからの予測しなければならない。

ここで、上記の考察を定量的に把握するために、実測データを加工処理した。

### 3-2.2 温度変化度合

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7
0	-0.1	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0	-0.1
3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
4	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
5	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
6	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
7	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0.1	0	0	0
10	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
11	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0.2
12	0.4	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
13	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2

14	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
15	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
16	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1
17	-0.1	-0.1	-0.1	0	-0.1	-0.2	-0.1
18	0	-0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2
19	-0.2	-0.1	-0.1	0	-0.3	-0.2	0.2
20	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
21	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2
22	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3
23	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0	-0.4

上表は、1時間前との温度差（℃）を表す。1時間前から温度が下降したセンサーには青色、上昇したセンサーは赤色に塗っており、時間温度差が大きいほど、色は濃くなる。

### 3-2.3 センサー順序

実測温度が高い順にセンサーを並び替えたものを本研究では、センサー順序とよび、温度により、センサーに優劣をつけた。それを表したのが以下の表であり、隣の括弧にはセンサー最低温度との差を表している。8月10日では、温度が一上昇していくにつれ、各センサー間の温度が縮まることがわかる。

18時以降、センサー5が下がっているように見えるが、これはセンサー名の降順によって生じているものであり、実際は0.1℃ほどの差しかなく、8月10日はセンサー順序の変動はほぼ見られないといえる。

	センサー6	センサー5	センサー7	センサー1	センサー4	センサー3	センサー2
0	23.3(2.1)	23.2(2)	23.2(2)	22.9(1.7)	22.7(1.5)	22.4(1.2)	21.2(0)
1	23.2(2.1)	23.1(2)	23.1(2)	22.8(1.7)	22.6(1.5)	22.3(1.2)	21.1(0)
2	23.2(2.2)	23(2)	23(2)	22.7(1.7)	22.5(1.5)	22.2(1.2)	21(0)
3	23.1(2.2)	22.9(2)	22.9(2)	22.6(1.7)	22.4(1.5)	22.1(1.2)	20.9(0)
4	23(2.1)	22.8(1.9)	22.8(1.9)	22.5(1.6)	22.3(1.4)	22(1.1)	20.9(0)
5	22.9(2.1)	22.7(1.9)	22.7(1.9)	22.4(1.6)	22.2(1.4)	21.9(1.1)	20.8(0)
6	22.8(2.1)	22.6(1.9)	22.6(1.9)	22.3(1.6)	22.1(1.4)	21.8(1.1)	20.7(0)
7	22.7(2.1)	22.5(1.9)	22.5(1.9)	22.3(1.7)	22(1.4)	21.7(1.1)	20.6(0)
8	22.7(2.1)	22.5(1.9)	22.5(1.9)	22.3(1.7)	22(1.4)	21.7(1.1)	20.6(0)
9	22.7(2.1)	22.5(1.9)	22.5(1.9)	22.3(1.7)	22.1(1.5)	21.7(1.1)	20.6(0)
10	22.8(2)	22.7(1.9)	22.7(1.9)	22.4(1.6)	22.2(1.4)	21.9(1.1)	20.8(0)
11	22.9(2)	22.8(1.9)	22.8(1.9)	22.5(1.6)	22.2(1.3)	22(1.1)	20.9(0)
12	23.4(1.8)	23.3(1.7)	23.2(1.6)	22.9(1.3)	22.7(1.1)	22.5(0.9)	21.6(0)
13	23.6(1.7)	23.6(1.7)	23.5(1.6)	23.1(1.2)	23(1.1)	22.7(0.8)	21.9(0)
14	24(1.6)	24(1.6)	23.8(1.4)	23.5(1.1)	23.4(1)	23.1(0.7)	22.4(0)
15	24.2(1.4)	24.2(1.4)	24(1.2)	23.7(0.9)	23.6(0.8)	23.4(0.6)	22.8(0)
16	24.3(1.3)	24.3(1.3)	24.2(1.2)	23.9(0.9)	23.8(0.8)	23.6(0.6)	23(0)

PS ヒーター (冷房) を付けた時には、センサー2 とその他のセンサーとの温度差が大きくなっていることが、他の実測日との比較から明らかになっており、PS ヒーター (冷房) をつけたときの住宅内部の温熱環境の大きな特徴であるといえる。これは、PS ヒーターが部屋の空気をかき混ぜることのない、放射冷暖房システムであることに起因すると考えられ、エアコンによる冷房が行われた時は、この特徴は見られない。

17	センサー5	センサー7	センサー6	センサー1	センサー4	センサー3	センサー2
	24.2(1.3)	24.2(1.3)	24(1.1)	23.8(0.9)	23.8(0.9)	23.5(0.6)	22.9(0)
18	センサー5	センサー7	センサー6	センサー1	センサー4	センサー3	センサー2
	24(1.3)	24(1.3)	23.9(1.2)	23.8(1.1)	23.5(0.8)	23.4(0.7)	22.7(0)
19	センサー7	センサー5	センサー6	センサー1	センサー4	センサー3	センサー2
	24.2(1.6)	23.7(1.1)	23.7(1.1)	23.6(1)	23.5(0.9)	23.3(0.7)	22.6(0)
20	センサー7	センサー5	センサー6	センサー1	センサー4	センサー3	センサー2
	24.3(1.4)	23.8(0.9)	23.8(0.9)	23.7(0.8)	23.6(0.7)	23.4(0.5)	22.9(0)
21	センサー7	センサー6	センサー1	センサー5	センサー4	センサー3	センサー2
	24.1(1.5)	23.6(1)	23.5(0.9)	23.5(0.9)	23.4(0.8)	23.1(0.5)	22.6(0)
22	センサー7	センサー1	センサー5	センサー6	センサー4	センサー3	センサー2
	24.4(1.7)	23.7(1)	23.7(1)	23.7(1)	23.5(0.8)	23.3(0.6)	22.7(0)
23	センサー7	センサー6	センサー1	センサー5	センサー4	センサー3	センサー2
	24(1.4)	23.7(1.1)	23.6(1)	23.5(0.9)	23.3(0.7)	23.1(0.5)	22.6(0)

### 3-2.4 センサー順序の傾向分析

センサー同士の相対関係の傾向を分析するため、センサー順序の集計を行った。8月~12月の間および各月ごとに、各センサーが占める順位の数を集計した。たとえば、全日の表をみると、センサー2はセンサーの中で最低温度だった回数が1546回ともっとも多く、逆にセンサー7は15回と最も少ない。この相対関係を分析することで、おおまかに室内の温熱環境の分布を予測することができる。なお、図2は表1の回数を割合(百分率)にして表したものである。

#### 全日 (8月~12月)

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	17	296	222	370	886	423	32
センサー2	26	19	10	33	61	551	1546
センサー3	226	675	336	333	247	389	40
センサー4	700	533	447	237	216	77	36
センサー5	120	242	570	823	419	68	4
センサー6	137	150	153	187	324	722	573
センサー7	1020	331	508	263	93	16	15

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	0.8	13.2	9.9	16.5	39.4	18.8	1.4
センサー2	1.2	0.8	0.4	1.5	2.7	24.5	68.8
センサー3	10.1	30.1	15.0	14.8	11.0	17.3	1.8
センサー4	31.2	23.7	19.9	10.6	9.6	3.4	1.6
センサー5	5.3	10.8	25.4	36.6	18.7	3.0	0.2
センサー6	6.1	6.7	6.8	8.3	14.4	32.1	25.5
センサー7	45.4	14.7	22.6	11.7	4.1	0.7	0.7

#### 8月

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	1	46	68	171	100	22	0
センサー2	0	0	0	0	13	32	363
センサー3	5	28	17	43	54	248	13
センサー4	15	55	86	56	160	33	3
センサー5	52	98	82	104	60	9	3
センサー6	81	82	101	33	21	64	26
センサー7	254	99	54	1	0	0	0

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	0.2	11.3	16.7	41.9	24.5	5.4	0.0
センサー2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	7.8	89.0
センサー3	1.2	6.9	4.2	10.5	13.2	60.8	3.2
センサー4	3.7	13.5	21.1	13.7	39.2	8.1	0.7
センサー5	12.7	24.0	20.1	25.5	14.7	2.2	0.7
センサー6	19.9	20.1	24.8	8.1	5.1	15.7	6.4
センサー7	62.3	24.3	13.2	0.2	0.0	0.0	0.0

9月

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	7	133	72	32	143	60	0
センサー2	0	0	0	3	7	61	376
センサー3	23	42	64	64	123	129	2
センサー4	72	85	101	96	32	28	33
センサー5	12	76	145	152	58	4	0
センサー6	35	33	31	75	72	165	36
センサー7	298	78	34	25	12	0	0

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	1.6	29.8	16.1	7.2	32.0	13.4	0.0
センサー2	0.0	0.0	0.0	0.7	1.6	13.6	84.1
センサー3	5.1	9.4	14.3	14.3	27.5	28.9	0.4
センサー4	16.1	19.0	22.6	21.5	7.2	6.3	7.4
センサー5	2.7	17.0	32.4	34.0	13.0	0.9	0.0
センサー6	7.8	7.4	6.9	16.8	16.1	36.9	8.1
センサー7	66.7	17.4	7.6	5.6	2.7	0.0	0.0

10月

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	8	94	48	82	314	132	18
センサー2	0	0	3	16	16	218	443
センサー3	76	294	137	111	42	11	25
センサー4	340	157	133	42	12	12	0
センサー5	12	37	169	275	180	22	1
センサー6	20	34	16	48	88	295	195
センサー7	240	80	190	122	44	6	14

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	1.1	13.5	6.9	11.8	45.1	19.0	2.6
センサー2	0.0	0.0	0.4	2.3	2.3	31.3	63.6
センサー3	10.9	42.2	19.7	15.9	6.0	1.6	3.6
センサー4	48.9	22.6	19.1	6.0	1.7	1.7	0.0
センサー5	1.7	5.3	24.3	39.5	25.9	3.2	0.1
センサー6	2.9	4.9	2.3	6.9	12.6	42.4	28.0
センサー7	34.5	11.5	27.3	17.5	6.3	0.9	2.0

11月

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	1	11	16	61	240	161	13
センサー2	16	9	7	13	18	157	283
センサー3	93	259	74	55	21	1	0
センサー4	240	164	79	17	3	0	0
センサー5	12	16	112	257	82	24	0
センサー6	0	1	5	21	110	160	206
センサー7	141	43	210	79	29	0	1

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	0.2	2.2	3.2	12.1	47.7	32.0	2.6
センサー2	3.2	1.8	1.4	2.6	3.6	31.2	56.3
センサー3	18.5	51.5	14.7	10.9	4.2	0.2	0.0
センサー4	47.7	32.6	15.7	3.4	0.6	0.0	0.0
センサー5	2.4	3.2	22.3	51.1	16.3	4.8	0.0
センサー6	0.0	0.2	1.0	4.2	21.9	31.8	41.0
センサー7	28.0	8.5	41.7	15.7	5.8	0.0	0.2

12月

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	0	12	18	24	89	48	1
センサー2	10	10	0	1	7	83	81
センサー3	29	52	44	60	7	0	0
センサー4	33	72	48	26	9	4	0
センサー5	32	15	62	35	39	9	0
センサー6	1	0	0	10	33	38	110
センサー7	87	31	20	36	8	10	0

順位	1	2	3	4	5	6	7
センサー1	0.0	6.3	9.4	12.5	46.4	25.0	0.5
センサー2	5.2	5.2	0.0	0.5	3.6	43.2	42.2
センサー3	15.1	27.1	22.9	31.3	3.6	0.0	0.0
センサー4	17.2	37.5	25.0	13.5	4.7	2.1	0.0
センサー5	16.7	7.8	32.3	18.2	20.3	4.7	0.0
センサー6	0.5	0.0	0.0	5.2	17.2	19.8	57.3
センサー7	45.3	16.1	10.4	18.8	4.2	5.2	0.0

占める割合が0.1%~0.99%の範囲の場合は赤、30%以上のものは青で示した。

センサー3 および 4 は秋 (10~11 月) にかけて、順位が高くなる割合が増え、逆にセンサー7 は冬にかけて、センサー順位1位の割合が少なくなっている。これは住宅が夏には天井付近に熱だまりができやすいため

6	センサー4	センサー3	センサー5	センサー6	センサー1	センサー7	センサー2
	20.9	20.8	20.8	20.8	20.3	20.3	19.5
7	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー6	センサー1	センサー2
	25.8	22.3	21.9	21.6	21	20.8	19.5
8	センサー5	センサー7	センサー4	センサー3	センサー6	センサー1	センサー2
	22	21.9	21.8	21.5	21.2	21.1	20.8
9	センサー2	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー6
	22.5	22.1	21.9	21.7	21.6	21.1	21.1
10	センサー2	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー1	センサー6
	23.4	22.4	22.1	22.1	22	21.7	21.3
11	センサー2	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー1	センサー6
	22.7	22.3	22.1	22.1	22	21.7	21.3
12	センサー2	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー1	センサー6
	22.3	22.3	22	22	21.9	21.7	21.3

にセンサー7 の温度が高くなり、逆に秋には熱だまりが少なく室内温度が一様になりやすいため、他のスペースよりもダイニングスペースに安定した温熱環境ができやすい秋にセンサー3 とセンサー4 が高順位に位置しているのだと考えられる。

月別で見ると、センサー2 では 11 月以降、センサー順序が 1 位になるパターンが現れていることが確認できる。センサー順位が 1 位となる時間帯を分析したところ、5 時・1 回、8 時・5 回、9 時 7 回、10 時 5 回、11 時 6 回、12 時 2 回であった。下表はセンサー2 の順位が 1 位となる場合であり、12 月 2 日の日付である。9 時から 12 時の間でセンサー2 の温度上昇が確認できる。これはスペース 1 のブラインドが朝方開いた状態であり、冬の日射が入った場合であると推定できる。

以上のように、実測値のグラフ化、センサー順序の作成、温度上下の変化を相互に照らし合わせること、実測値の温度変化の要因とその傾向について分析が可能であることが示された。



## 第四章 整合性検証

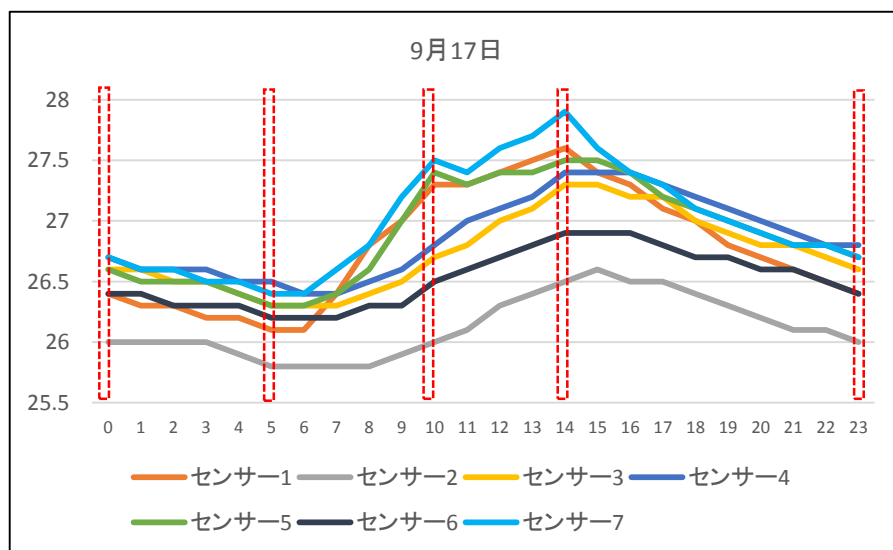
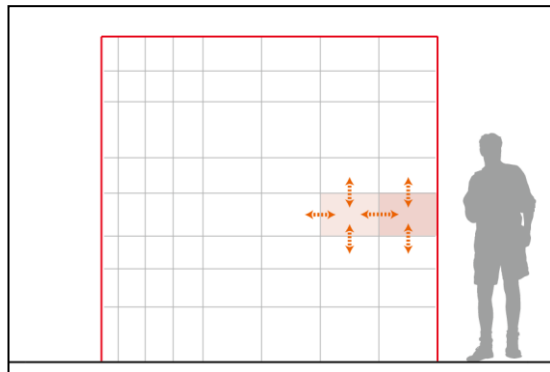
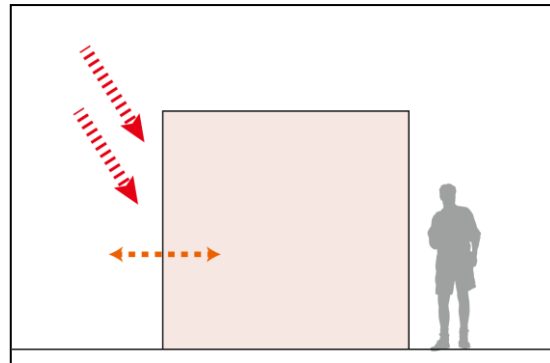
### 4-1 検証手順

#### 4-1.1 シミュレーション手順

右図にシミュレーションの概念図を示す。

図1は Energy Plus によるエネルギーシミュレーションである。外気温や日射等による各ゾーン（部屋）の熱収支を計算し、ゾーン全体の空気温度を計算する。図2は CFD 解析による計算の概念図である。Energy Plus のエネルギーシミュレーションによって得られた表面境界温度を用いて、メッシュ分割されたセル間の熱移動の方程式を解くことにより、セルの温度を計算する。セルの数が多ければ多いほど（メッシュ分割数が多いほど）、精度が高くなるが、計算時間が長くなる。

エネルギーシミュレーションでは、時間推移のゾーンごとの空気温度をシミュレーションできるため、取得したほぼ全日毎時間ごとの実測値（8月～11月まで）との比較を行う。一方、CFD 解析では、ある時間の表面境界条件をインポートし、シミュレーションを行うため、1日の中の特定の時間を任意に指定しなければならない。指定する時間は実測値に基づき、温度変化（上昇・下降に転じるとき）が確認される時刻の表面境界条件をインポートする（右図参照）。例えば、下図の場合は、0時、5時、10時、14時、23時の表面境界条件をインポートし、それぞれ計算を行う。



#### 4-1. 2 検証の流れ

4章では以下の3つの段階で整合性の検証を行った。

##### 1.エネルギーシミュレーションとの比較

第一段階では、人の活動、照明のスケジュール、冷暖房スケジュールは設定せずにシミュレーションを行う。これは最初のシミュレーション上での設定を極力少なくすることで、第二段階以降のシミュレーションの誤差値を見る際、シミュレーション上での設定による影響の検討比較を行いやすくするためである。

誤差の検討に用いるのは、実測値とエネルギーシミュレーション値の差であり、ここでは<差分値>とよぶ。差分をとることで、実測値とエネルギーシミュレーション値がどれだけ離れているかを確認し、日平均誤差を算出。日平均誤差により、どのような場合に誤差が生じやすいかの検討を行う。また、毎時間ごとの差分値により、1日の時間変化における誤差の傾向を分析する。

また、エネルギーシミュレーション値を計算し、実測値と照合した日付は、2015年8月3日、8月6日～11日、8月22日～9月6日、9月17日～9月27日、10月1日～10月7日、10月10日～11月6日、11月11日～11月12日、11月14日～11月17日、11月20日～11月26日、11月28日の計83日間である。

##### 2.CFD解析との比較

1.で行ったエネルギーシミュレーションから得られた境界条件をもとに、CFD解析を行う。取得した全日の実測値との比較は不可能なため、ここではエネルギーシミュレーション日のうち、以下の日付のCFD解析を行った。

8月8日・8月27日・9月17日・9月24日・10月5日・10月12日・10月19日・10月21日・10月26日・10月27日・11月2日・11月16日の12日間

※1.エネルギーシミュレーションと同様、人の活動・空調機器等の設定は行わない。

CFD解析比較項目として、1.での比較項目に加えて、センサー順位についての比較も行う。3章で分析したセンサー順位とCFD解析で算出したシミュレーション温度順位の整合性がとれるということは、室内温熱環境の把握にとって重要な要素である。CFD解析によるセンサー温度の相対関係の整合性を検証する。

##### 3.照明・PSヒーター・OMソーラーの設定を加えたCFD解析

2.で行ったCFD解析日のうち、以下の日にちはそれぞれPSヒーター・照明・OMソーラーが稼働した日である。この6日に関しては、それぞれPSヒーター・照明・OMソーラーの設定を加えたCFD解析を行った。

- ・PS：8月8日、8月27日
- ・照明：10月27日、11月2日
- ・OMソーラー：10月19日、11月16日

## 4-2 エネルギーシミュレーションによる比較検証

### 4-2.1 解析条件

使用する解析モデルは第2章で概要を説明したが、本章でのエネルギーシミュレーションの設定において、留意すべき点は以下の点である。

- ・外付けブラインドについてはすべて開いている状態とした
- ・洗面所のドアは開いた状態とした
- ・風呂場・トイレの間仕きり壁はモデリングしていない

### 4-2.2 解析結果

エネルギーシミュレーション解析結果は右図のように算出される。エネルギーシミュレーションはゾーン(部屋)ごとに温度をシミュレーションするが、右図のスペース2、スペース1、ダイニング、スペース3、洗面所、床下のゾーンに対応する実測値のセンサーはそれぞれ、センサー1、センサー2、センサー4、センサー5、センサー6、センサー10とする。

右図は8月10日のものであるが、床下の温度が一定で室内側よりも6~7℃ほど低い値になっている。また、実際の床下の温度を見ると(付録参照)、0~23時にかけて1℃の下降がみられるが、エネルギーシミュレーションでは0.2℃ほどの変化しか見られない。

また、実測値ではスペース1(センサー2)の値が一番低いのに対し、エネルギーシミュレーションではスペース1の方が0.5℃ほど高くなることが確認できる。

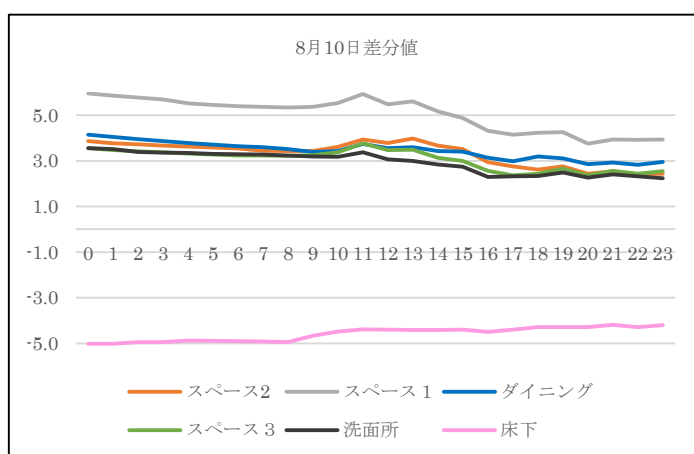
時刻	スペース2	スペース1	ダイニング	スペース3	洗面所	床下
0	26.8	27.2	26.9	26.8	26.9	19.4
1	26.6	27.0	26.6	26.6	26.7	19.4
2	26.4	26.8	26.5	26.4	26.6	19.4
3	26.3	26.6	26.3	26.3	26.5	19.4
4	26.1	26.4	26.1	26.1	26.3	19.3
5	26.0	26.3	25.9	26.0	26.2	19.3
6	25.8	26.1	25.7	25.8	26.1	19.3
7	25.7	26.0	25.6	25.7	26.0	19.3
8	25.7	25.9	25.5	25.7	25.9	19.3
9	25.7	26.0	25.5	25.8	25.9	19.2
10	26.0	26.3	25.6	26.1	26.0	19.2
11	26.4	26.8	25.9	26.6	26.2	19.2
12	26.7	27.1	26.3	26.8	26.3	19.2
13	27.1	27.5	26.6	27.1	26.5	19.2
14	27.2	27.6	26.8	27.1	26.6	19.2
15	27.2	27.7	27.0	27.2	26.7	19.2
16	26.8	27.3	26.9	26.9	26.5	19.2
17	26.6	27.1	26.8	26.6	26.3	19.2
18	26.4	26.9	26.7	26.4	26.2	19.2
19	26.4	26.9	26.6	26.4	26.2	19.2
20	26.1	26.7	26.5	26.2	26.1	19.2
21	26.0	26.5	26.3	26.1	26.0	19.2
22	26.1	26.6	26.3	26.1	26.0	19.2
23	26.0	26.5	26.3	26.0	25.9	19.2

4-2.3 差分値の算出

差分値は以下のように表せる。ゾーンごとの毎時刻ごとの差分値、およびゾーンごとの1日の平均差分値を算出した。あくまで差分値であり、これによって実測値とシミュレーション値の整合性であるかどうかは判断できない。

8月10日の例では、スペース1・床下以外のゾーンの1日平均差分値は3℃前後となっているが、スペース2および床下の差分値は大きい。室内の差分値の変化は夜になるにつれて低くなっていき、差分値は2℃ほど縮まっている。これに対し、床下は差分値の変化は0.8℃ほどである。下図は差分値の一日変化をグラフ化したものである。

	スペース2	スペース1	ダイニング	スペース3	洗面所	床下
0	3.86	5.96	4.15	3.55	3.55	-5.01
1	3.77	5.85	4.04	3.47	3.51	-5.02
2	3.72	5.77	3.95	3.42	3.39	-4.94
3	3.67	5.69	3.87	3.37	3.36	-4.95
4	3.62	5.52	3.78	3.32	3.34	-4.87
5	3.58	5.45	3.71	3.27	3.31	-4.89
6	3.54	5.39	3.64	3.23	3.29	-4.9
7	3.44	5.36	3.6	3.23	3.28	-4.92
8	3.43	5.34	3.52	3.22	3.23	-4.94
9	3.43	5.36	3.39	3.25	3.19	-4.66
10	3.61	5.53	3.43	3.38	3.18	-4.48
11	3.94	5.93	3.74	3.76	3.37	-4.39
12	3.78	5.48	3.55	3.47	3.06	-4.4
13	3.98	5.6	3.6	3.49	3	-4.41
14	3.67	5.17	3.43	3.13	2.84	-4.41
15	3.52	4.87	3.4	2.99	2.74	-4.4
16	2.94	4.32	3.14	2.56	2.3	-4.5
17	2.75	4.15	2.98	2.37	2.32	-4.4
18	2.62	4.23	3.19	2.44	2.34	-4.29
19	2.75	4.26	3.11	2.66	2.49	-4.29
20	2.44	3.75	2.86	2.36	2.27	-4.29
21	2.54	3.94	2.92	2.56	2.4	-4.19
22	2.42	3.92	2.82	2.43	2.32	-4.29
23	2.43	3.93	2.95	2.54	2.24	-4.2
	3.31	5.03	3.45	3.06	2.93	-4.59



4-2. 4 日平均差分値の算出

解析結果から、1日の平均差分値を算出したものを以下に示す。差分値が+であれば、シミュレーションが高いことを表している。また、そのグラフを図に示す。

8月から11月28日までの実測値との差分のうち、床下との差分値は常にマイナスであり、エネルギーシミュレーションでの床下の温度は実測値に比べ、大幅に低くなっている。これはシミュレーション上では、床下の地面と接する断熱が実際よりも断熱抵抗を低く設定してあるため（初期設定では、地面と接するコンクリート基礎のみの設定）、地面の温度が大きく影響したものと考えられる。

8月は室内側ではシミュレーションの数値が高く出る傾向があるが、8月27日から8月31日はシミュレーションの室内側の数値が低くなっていることが確認できる。これは、この期間に住宅内で宿泊実験があり、人が宿泊した影響だと考えられる。宿泊実験により、照明・PSヒーター・エアコンが稼働した結果、設定をしていないシミュレーションの結果が実測値よりも高くなったのだと推測できる。

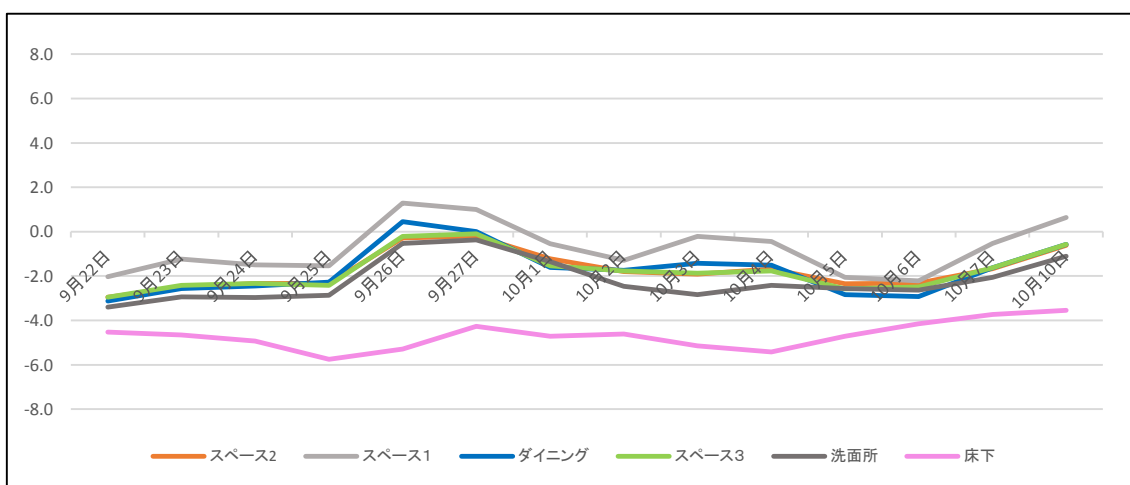
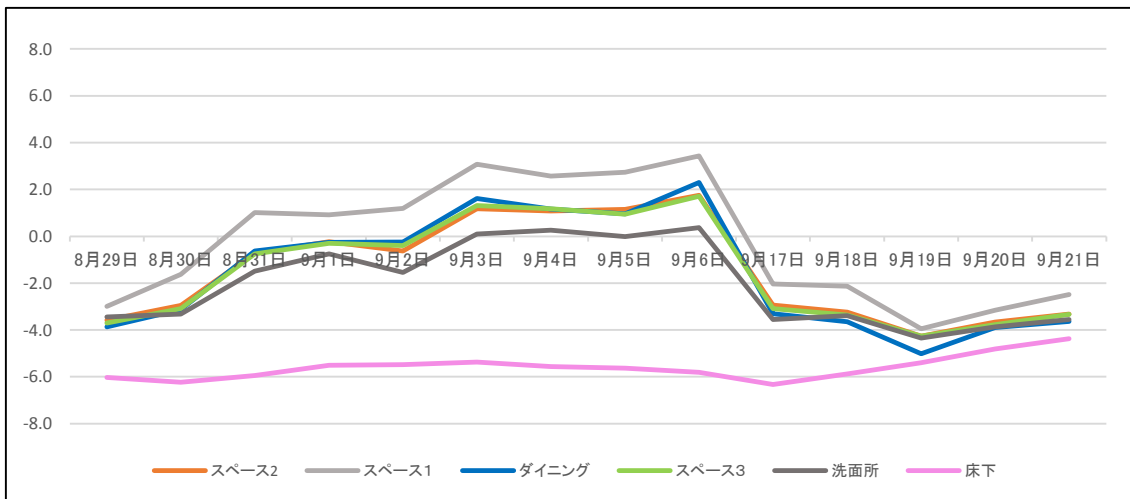
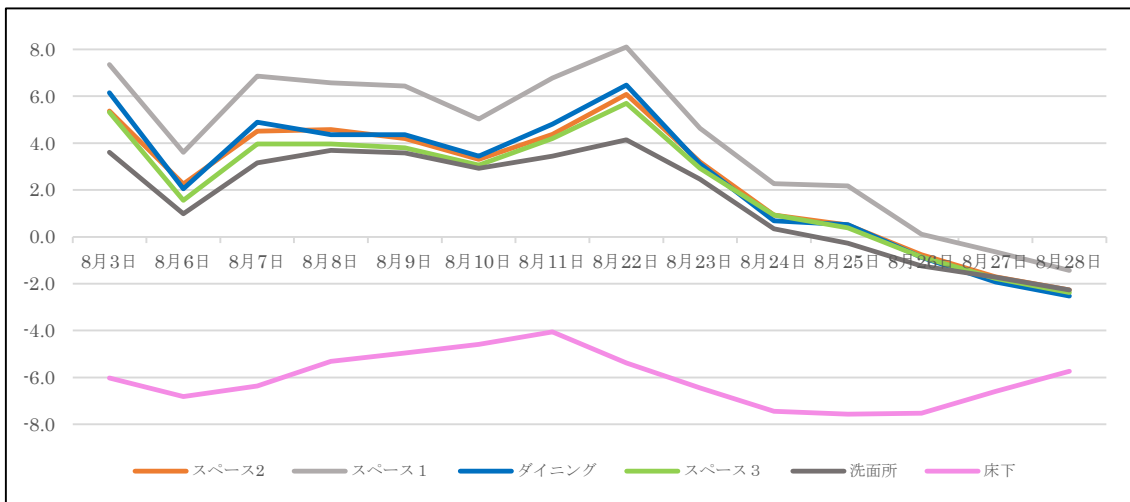
	スペース2	スペース1	センター	スペース3	バス	床下
8月3日	5.4	7.4	6.2	5.3	3.6	-6.0
8月6日	2.3	3.6	2.1	1.6	1.0	-6.8
8月7日	4.5	6.9	4.9	4.0	3.2	-6.4
8月8日	4.6	6.6	4.4	4.0	3.7	-5.3
8月9日	4.2	6.4	4.4	3.8	3.6	-5.0
8月10日	3.3	5.0	3.4	3.1	2.9	-4.6
8月11日	4.4	6.8	4.8	4.2	3.4	-4.1
8月22日	6.1	8.1	6.5	5.7	4.1	-5.4
8月23日	3.2	4.6	3.1	2.9	2.5	-6.5
8月24日	0.9	2.3	0.7	0.9	0.3	-7.5
8月25日	0.5	2.2	0.5	0.4	-0.3	-7.6
8月26日	-0.8	0.1	-0.9	-0.9	-1.2	-7.5
8月27日	-1.7	-0.6	-1.9	-1.8	-1.7	-6.6
8月28日	-2.3	-1.4	-2.5	-2.4	-2.3	-5.7
8月29日	-3.6	-3.0	-3.9	-3.7	-3.4	-6.0
8月30日	-3.0	-1.6	-3.1	-3.1	-3.3	-6.2
8月31日	-0.7	1.0	-0.6	-0.8	-1.5	-6.0
9月1日	-0.2	0.9	-0.3	-0.3	-0.8	-5.5
9月2日	-0.6	1.2	-0.3	-0.4	-1.5	-5.5
9月3日	1.2	3.1	1.6	1.3	0.1	-5.4
9月4日	1.1	2.6	1.2	1.2	0.3	-5.6
9月5日	1.1	2.7	1.0	0.9	0.0	-5.6
9月6日	1.8	3.4	2.3	1.7	0.4	-5.8
9月17日	-2.9	-2.0	-3.3	-3.1	-3.6	-6.3
9月18日	-3.2	-2.1	-3.7	-3.4	-3.4	-5.9
9月19日	-4.3	-4.0	-5.0	-4.3	-4.3	-5.4
9月20日	-3.7	-3.2	-3.9	-3.8	-3.9	-4.8
9月21日	-3.3	-2.5	-3.6	-3.3	-3.5	-4.4
9月22日	-2.9	-2.0	-3.1	-3.0	-3.4	-4.5
9月23日	-2.5	-1.2	-2.6	-2.4	-2.9	-4.7
9月24日	-2.3	-1.5	-2.5	-2.3	-3.0	-4.9
9月25日	-2.3	-1.5	-2.3	-2.4	-2.9	-5.7
9月26日	-0.3	1.3	0.4	-0.2	-0.5	-5.3
9月27日	-0.2	1.0	0.0	-0.1	-0.4	-4.3
10月1日	-1.2	-0.5	-1.6	-1.5	-1.3	-4.7
10月2日	-1.8	-1.3	-1.7	-1.8	-2.5	-4.6
10月3日	-1.9	-0.2	-1.4	-1.9	-2.8	-5.2
10月4日	-1.7	-0.4	-1.5	-1.8	-2.4	-5.4
10月5日	-2.3	-2.1	-2.8	-2.6	-2.6	-4.7
10月6日	-2.3	-2.2	-2.9	-2.5	-2.6	-4.1

9月以降は、シミュレーション値が実測を下回り、差分値がマイナス傾向となる。グラフを見ると、差分値が0に近づく日が見られる。10月26日～30日は秋の宿泊実験により、人が滞在しており、実測室内温度が高くなったためである。

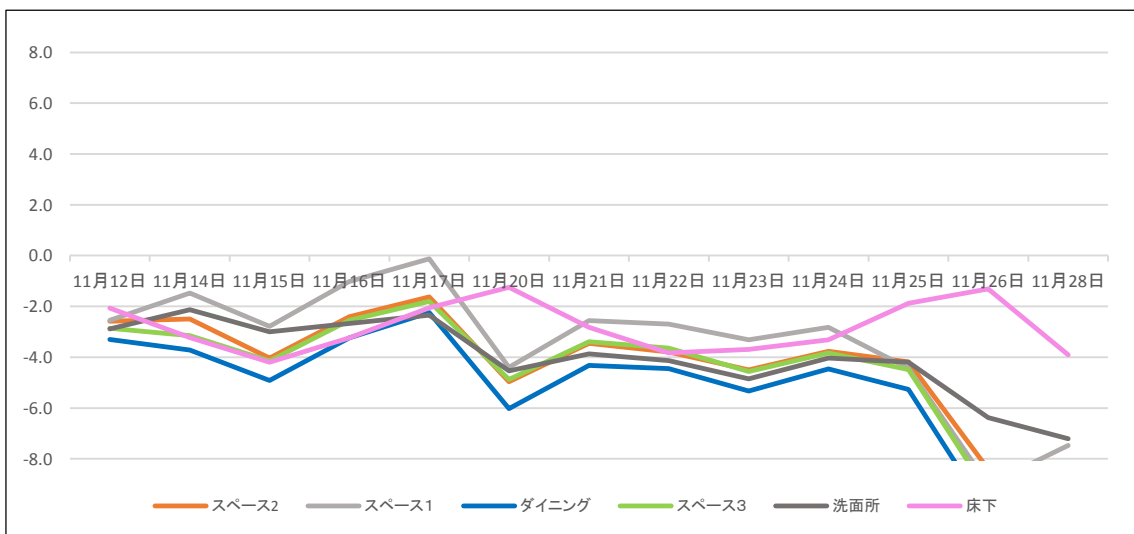
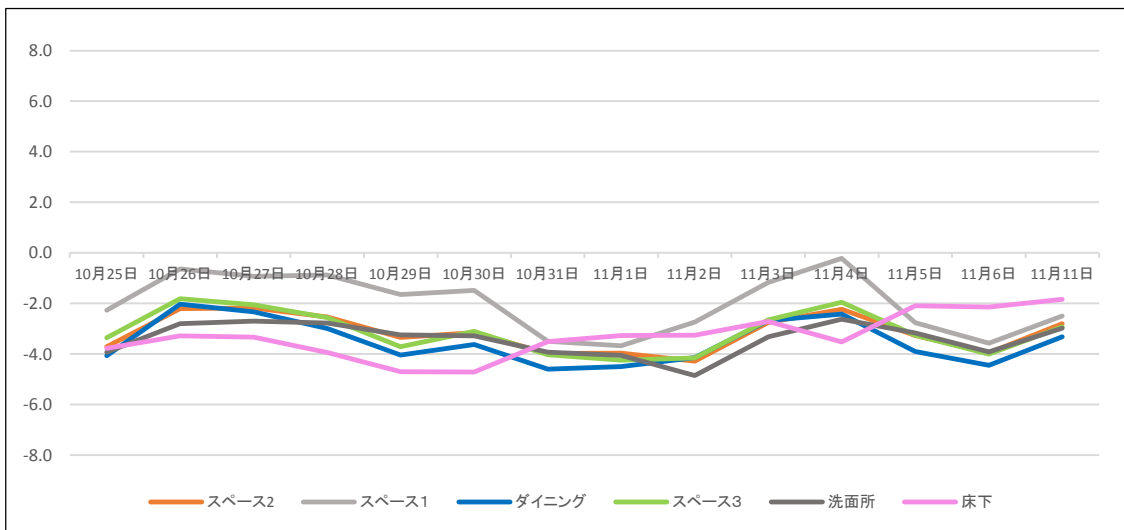
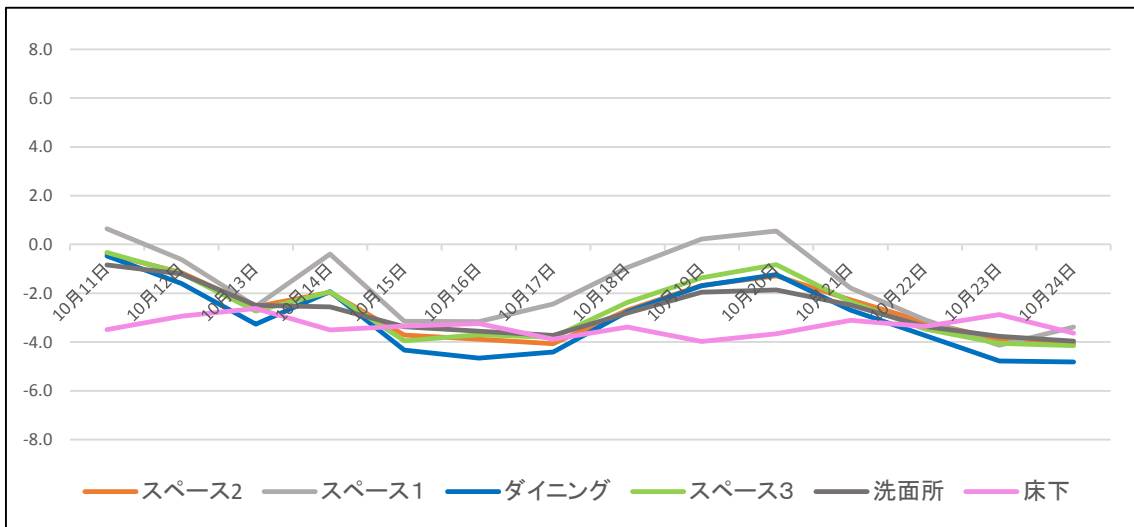
また、スペース別にみると、特にスペース1の差分値の変化が大きいことが確認できる。スペース1は実測値分析でも温熱環境の変動が大きいことがわかっており、それだけ差分変動が大きくなりやすいと予想される。

Energy Plusによるエネルギーシミュレーションは、ゾーンごとの温度を出力するため、実際のセンサー温度との一致を期待しているわけではない。むしろ、Energy Plusのエネルギーシミュレーションによる表面温度の出力が重要になってくる。CFD解析は室内の表面温度により、熱方程式を解くことで、熱流体を解析するため、このエネルギーシミュレーションが大きくCFDの解析結果に影響すると考えられる。4章では、エネルギーシミュレーションの結果とCFD解析の相関性も考慮しながら、検証を行っていく。

10月7日	-1.7	-0.5	-1.6	-1.6	-2.1	-3.7
10月10日	-0.6	0.6	-0.6	-0.6	-1.1	-3.5
10月11日	-0.4	0.6	-0.5	-0.3	-0.8	-3.5
10月12日	-1.2	-0.6	-1.6	-1.2	-1.2	-2.9
10月13日	-2.6	-2.5	-3.3	-2.7	-2.5	-2.6
10月14日	-2.0	-0.4	-1.9	-1.9	-2.6	-3.5
10月15日	-3.7	-3.2	-4.3	-4.0	-3.4	-3.3
10月16日	-3.9	-3.2	-4.7	-3.7	-3.6	-3.2
10月17日	-4.1	-2.4	-4.4	-3.8	-3.7	-3.9
10月18日	-2.7	-0.9	-2.8	-2.4	-2.8	-3.4
10月19日	-1.7	0.2	-1.7	-1.4	-1.9	-4.0
10月20日	-1.3	0.5	-1.2	-0.8	-1.9	-3.7
10月21日	-2.3	-1.8	-2.7	-2.3	-2.5	-3.1
10月22日	-3.2	-3.1	-3.7	-3.5	-3.4	-3.4
10月23日	-3.9	-4.1	-4.8	-4.1	-3.8	-2.9
10月24日	-4.1	-3.4	-4.8	-4.1	-4.0	-3.6
10月25日	-3.7	-2.3	-4.1	-3.4	-3.9	-3.8
10月26日	-2.2	-0.6	-2.0	-1.8	-2.8	-3.3
10月27日	-2.2	-0.9	-2.3	-2.1	-2.7	-3.3
10月28日	-2.5	-0.9	-3.0	-2.6	-2.8	-3.9
10月29日	-3.4	-1.7	-4.0	-3.7	-3.3	-4.7
10月30日	-3.2	-1.5	-3.6	-3.1	-3.3	-4.7
10月31日	-4.0	-3.5	-4.6	-4.0	-3.9	-3.5
11月1日	-4.0	-3.7	-4.5	-4.2	-4.1	-3.3
11月2日	-4.3	-2.7	-4.2	-4.2	-4.9	-3.3
11月3日	-2.8	-1.2	-2.7	-2.7	-3.3	-2.7
11月4日	-2.2	-0.2	-2.4	-2.0	-2.6	-3.5
11月5日	-3.3	-2.8	-3.9	-3.3	-3.2	-2.1
11月6日	-4.0	-3.6	-4.5	-4.0	-3.9	-2.1
11月11日	-2.8	-2.5	-3.3	-2.9	-3.0	-1.8
11月12日	-2.6	-2.5	-3.3	-2.9	-2.9	-2.1
11月14日	-2.5	-1.5	-3.7	-3.1	-2.1	-3.2
11月15日	-4.0	-2.8	-4.9	-4.2	-3.0	-4.2
11月16日	-2.4	-1.0	-3.2	-2.5	-2.7	-3.2
11月17日	-1.6	-0.1	-2.2	-1.8	-2.3	-2.0
11月20日	-5.0	-4.4	-6.0	-4.9	-4.5	-1.2
11月21日	-3.5	-2.6	-4.3	-3.4	-3.9	-2.8
11月22日	-3.8	-2.7	-4.4	-3.6	-4.1	-3.8
11月23日	-4.5	-3.3	-5.3	-4.6	-4.8	-3.7
11月24日	-3.8	-2.8	-4.5	-3.8	-4.0	-3.3
11月25日	-4.2	-4.4	-5.3	-4.5	-4.2	-1.9
11月26日	-8.4	-9.0	-10.1	-9.3	-6.4	-1.3
11月28日	-9.4	-7.5	-9.8	-9.5	-7.2	-3.9



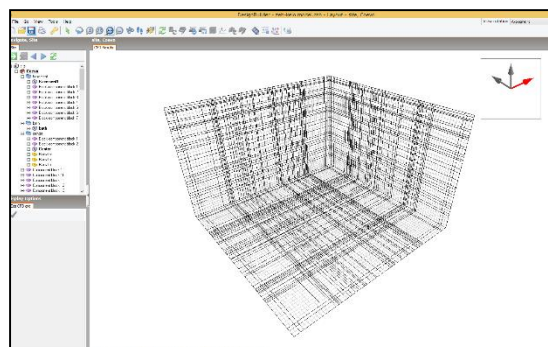




### 4-3 CFD 解析による検証

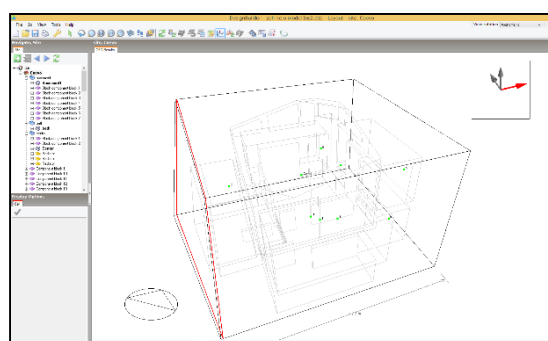
#### 4-3.1 解析条件

解析領域全体のメッシュ分割は 70 (X) × 69 (Y) × 41 (Z) であり、室内におけるメッシュ幅は約 0.15m × 0.15m × 0.15m である。図 1 に室内のメッシュ分割を示す。また、図 2 のようにセンサー位置は実際と同じ位置で設定できた。



#### 4-3.2 シミュレーション時間

CFD 解析において、計算が収束するか否かは精度に重要な影響を与える。CFD 解析においては、Mass モデルの収束・室内温度の収束・気流の収束があり、Mass モデルの収束がシミュレーションの収束とみなすことが通常である。しかし、Mass モデルの収束には時間が大幅にかかるため、本研究では室内温度および気流の収束により、シミュレーションが収束したと判断する。計算回数は最低 1000 回行うこととする。



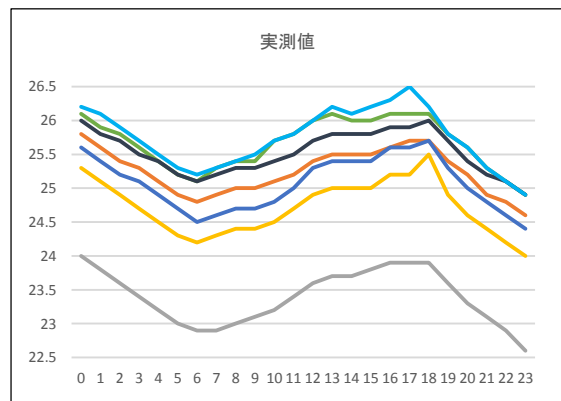
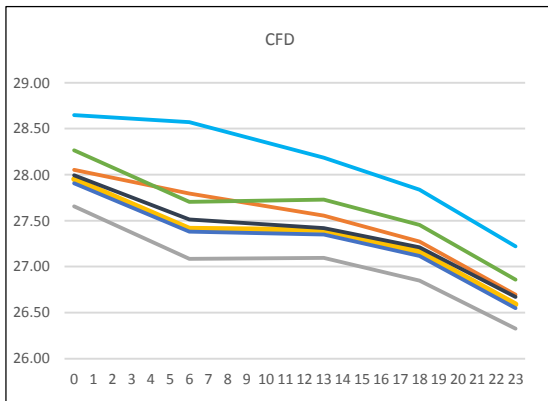
#### 4-3.3 解析結果

8月8日・8月27日・9月17日・9月24日・10月5日・10月12日・10月19日・10月21日・10月26日・10月27日・11月2日・11月16日の12日間の結果を以下に示す。

時刻のインポートに関しては、実測値のをもとに、温度が変化するタイミングでインポートを行った。したがって、インポートの回数は、日によって異なり、温度変化が激しいほど、多くの時刻を解析している。

8月8日 差分値およびCFD解析グラフ

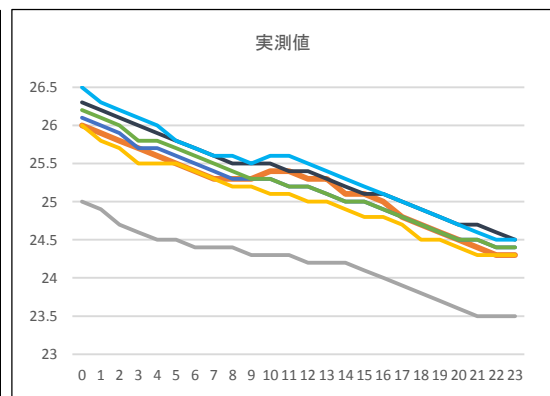
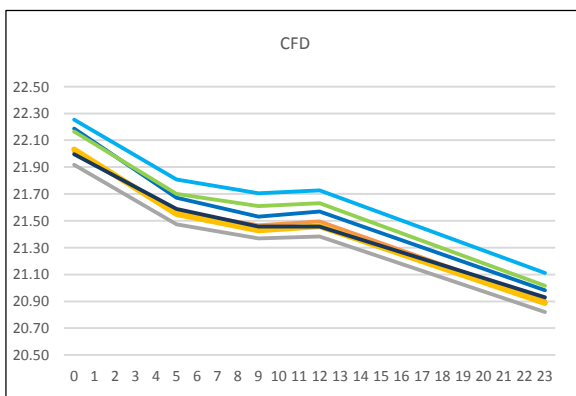
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	2.3	3.7	2.7	2.3	2.2	2.0	2.4	-3.3
6	3.0	4.2	3.2	2.9	2.6	2.4	3.4	-3.1
13	2.1	3.4	2.4	2.0	1.6	1.6	2.0	-3.0
18	1.6	2.9	1.7	1.4	1.4	1.2	1.6	-3.1
23	2.1	3.7	2.6	2.2	2.0	1.8	2.3	-2.9
平均	2.2	3.6	2.5	2.1	1.9	1.8	2.4	-3.1



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

8月27日 差分値およびCFD解析グラフ

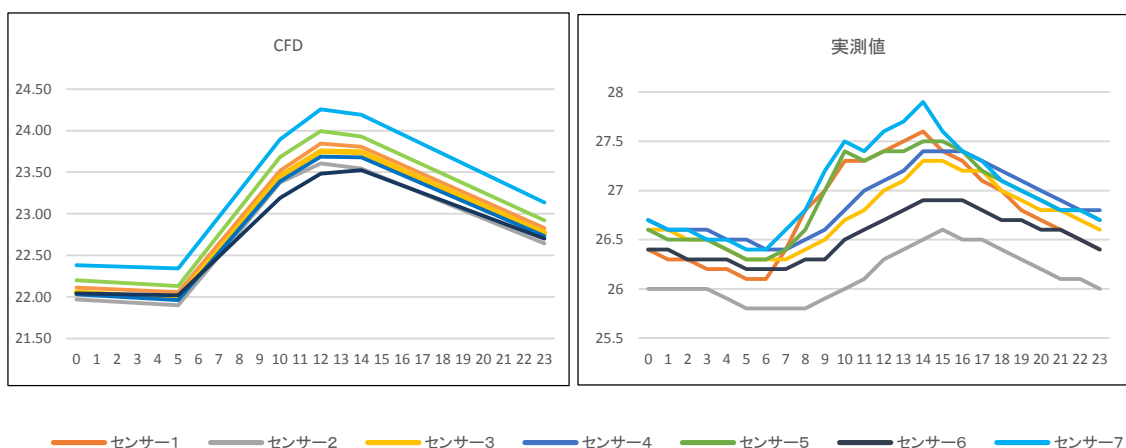
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-4.0	-3.1	-4.0	-3.9	-4.0	-4.3	-4.2	-6.5
5	-3.9	-3.0	-3.9	-3.9	-4.0	-4.2	-4.0	-6.3
9	-3.8	-2.9	-3.8	-3.8	-3.7	-4.0	-3.8	-6.1
12	-3.8	-2.8	-3.5	-3.6	-3.6	-3.9	-3.8	-6.0
23	1.6	-3.5	-2.6	-3.3	-3.4	-3.5	-3.4	-6.0
平均	-2.8	-3.1	-3.6	-3.7	-3.7	-4.0	-3.8	-6.2



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

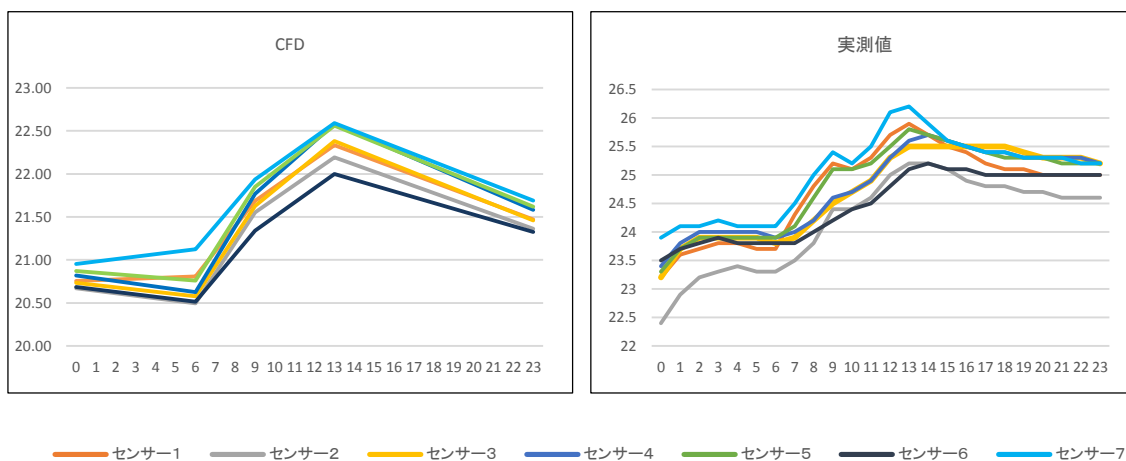
9月17日 差分値およびCFD解析グラフ

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-4.3	-4.0	-4.5	-4.7	-4.4	-4.4	-4.3	-5.3
5	-4.0	-3.9	-4.3	-4.5	-4.2	-4.2	-4.1	-5.1
10	-3.8	-2.6	-3.3	-3.4	-3.7	-3.3	-3.6	-4.7
12	-3.6	-2.7	-3.2	-3.4	-3.4	-3.2	-3.3	-4.8
14	-3.8	-3.0	-3.6	-3.7	-3.6	-3.4	-3.7	-5.0
23	-3.6	-3.4	-3.8	-4.1	-3.8	-3.7	-3.6	-5.0
平均	-3.8	-3.3	-3.8	-4.0	-3.8	-3.7	-3.8	-5.0



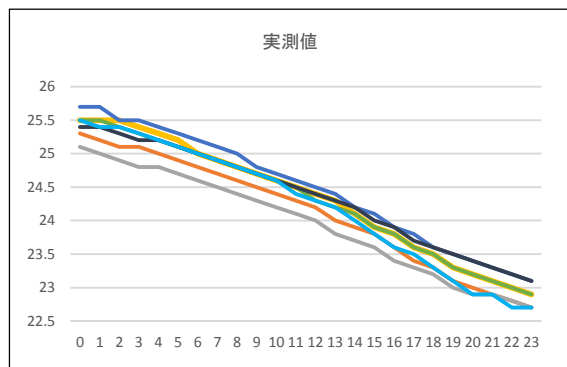
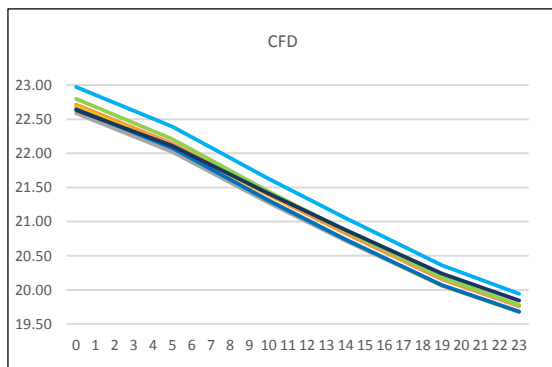
9月24日 差分値およびCFD解析グラフ

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-2.4	-1.7	-2.5	-2.6	-2.4	-2.8	-2.9	-4.1
6	-2.9	-2.8	-3.2	-3.3	-3.1	-3.3	-3.0	-3.7
9	-3.5	-2.8	-2.9	-2.8	-3.2	-2.9	-3.5	-3.7
13	-3.6	-3.0	-3.1	-3.0	-3.2	-3.1	-3.6	-4.0
23	-3.5	-3.2	-3.7	-3.6	-3.6	-3.7	-3.5	-4.4
平均	-3.2	-2.7	-3.1	-3.1	-3.1	-3.1	-3.3	-4.0



10月5日 差分値およびCFD解析グラフ

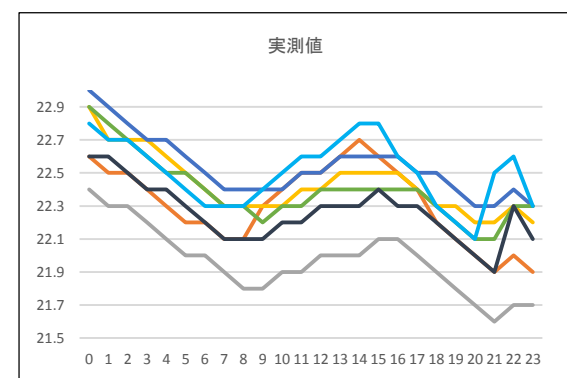
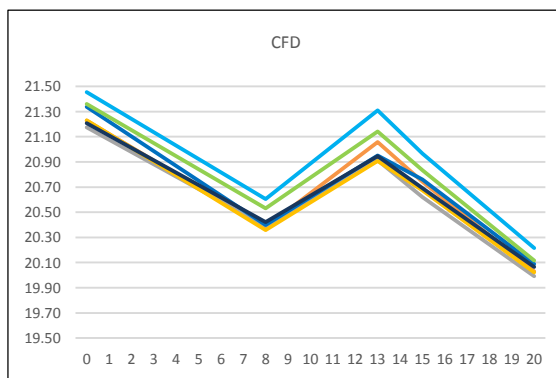
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-2.6	-2.5	-2.8	-3.0	-2.7	-2.8	-2.5	-4.2
5	-2.8	-2.7	-3.1	-3.2	-2.9	-3.0	-2.7	-4.0
10	-3.0	-2.9	-3.3	-3.4	-3.2	-3.2	-3.0	-4.1
14	-3.1	-3.0	-3.4	-3.5	-3.2	-3.3	-3.0	-4.0
19	-2.9	-2.9	-3.2	-3.4	-3.1	-3.3	-2.7	-3.9
23	-2.9	-3.0	-3.2	-3.4	-3.1	-3.3	-2.8	-3.8
平均	-2.9	-2.8	-3.2	-3.3	-3.0	-3.1	-2.8	-4.0



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

10月12日 差分値およびCFD解析グラフ

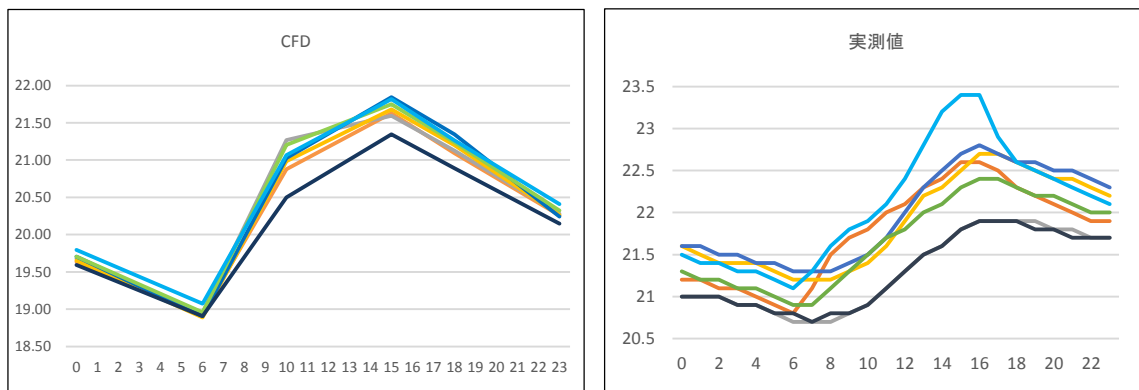
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-1.4	-1.2	-1.7	-1.7	-1.5	-1.4	-1.3	-2.4
8	-1.7	-1.4	-1.9	-2.0	-1.8	-1.7	-1.7	-2.2
13	-1.5	-1.1	-1.6	-1.7	-1.3	-1.4	-1.4	-2.2
15	-1.9	-1.5	-1.8	-1.8	-1.6	-1.7	-1.8	-2.4
20	-2.0	-1.7	-2.2	-2.2	-2.0	-1.9	-1.9	-2.3
平均	-1.7	-1.4	-1.8	-1.9	-1.6	-1.6	-1.6	-2.3



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

10月19日 差分値およびCFD解析グラフ

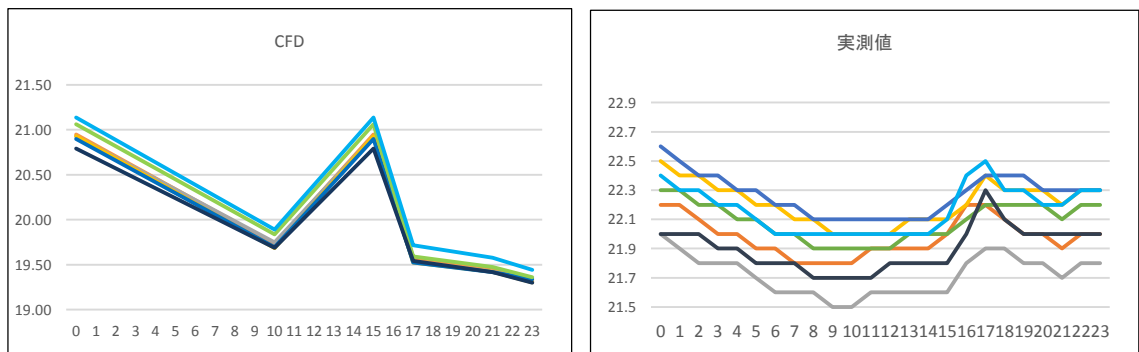
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-1.6	-1.3	-1.9	-1.9	-1.6	-1.4	-1.7	-2.6
6	-1.9	-1.8	-2.3	-2.4	-1.9	-1.9	-2.0	-2.4
10	-0.9	0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.8	-2.9
15	-1.0	-0.2	-0.8	-0.9	-0.6	-0.5	-1.6	-6.0
18	-1.2	-0.8	-1.4	-1.3	-1.1	-1.0	-1.3	-3.6
23	-1.6	-1.4	-1.9	-2.1	-1.7	-1.6	-1.7	-2.8
平均	-1.4	-0.8	-1.5	-1.5	-1.2	-1.1	-1.5	-3.4



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

10月21日 差分値およびCFD解析グラフ

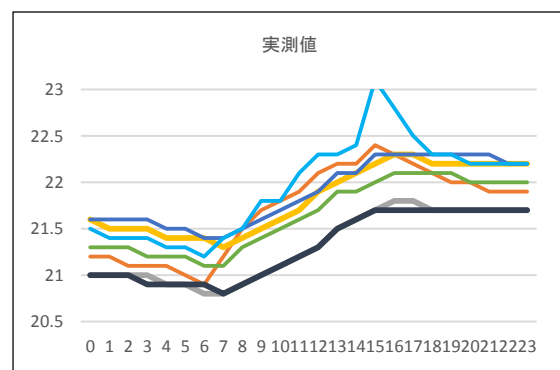
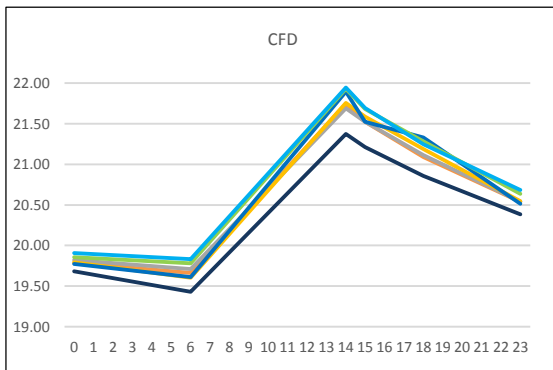
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-1.3	-1.1	-1.6	-1.7	-1.2	-1.2	-1.3	-2.4
10	-2.1	-1.8	-2.3	-2.4	-2.1	-2.0	-2.1	-2.4
15	-1.1	-0.7	-1.2	-1.3	-0.9	-1.0	-1.0	-2.1
17	-2.6	-2.4	-2.9	-2.9	-2.6	-2.8	-2.8	-2.8
21	-2.4	-2.3	-2.8	-2.9	-2.6	-2.6	-2.6	-2.8
23	-2.7	-2.5	-3.0	-3.0	-2.8	-2.7	-2.9	-2.9
平均	-2.0	-1.8	-2.3	-2.4	-2.1	-2.0	-2.1	-2.6



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

10月26日 差分値およびCFD解析グラフ

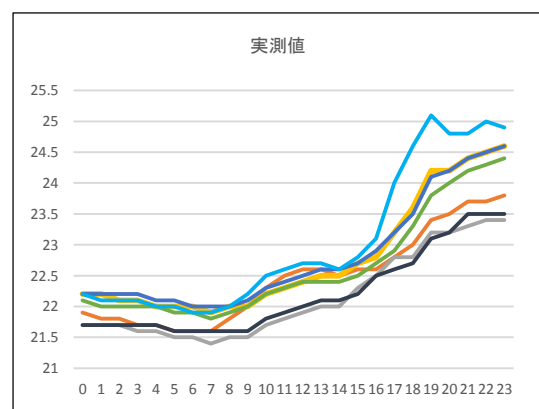
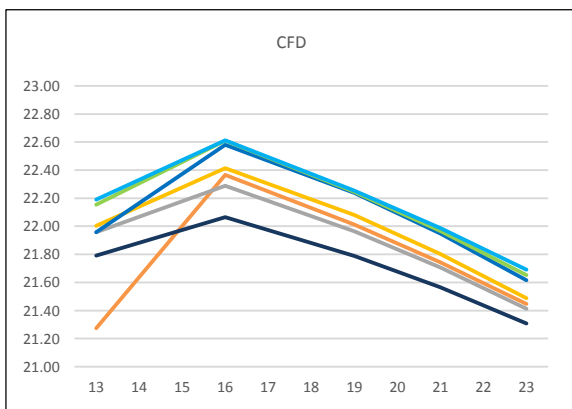
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-1.4	-1.2	-1.8	-1.8	-1.4	-1.3	-1.6	-2.7
6	-1.2	-1.1	-1.8	-1.8	-1.3	-1.5	-1.4	-2.5
14	-0.5	0.1	-0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.5	-2.0
15	-0.9	-0.2	-0.6	-0.8	-0.3	-0.5	-1.4	-2.1
18	-1.0	-0.6	-1.0	-1.0	-0.8	-0.8	-1.1	-2.1
23	-1.4	-1.2	-1.7	-1.7	-1.4	-1.3	-1.5	-2.3
平均	-1.1	-0.7	-1.2	-1.2	-0.9	-0.9	-1.2	-2.3



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

10月27日 差分値およびCFD解析グラフ

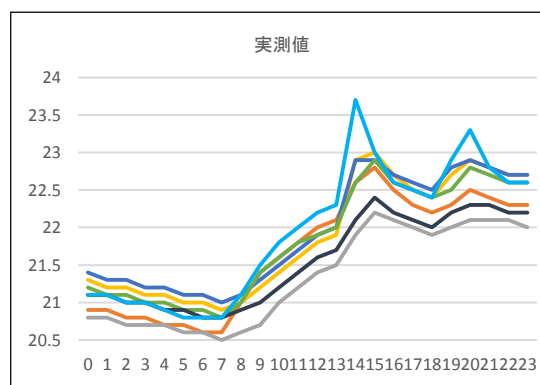
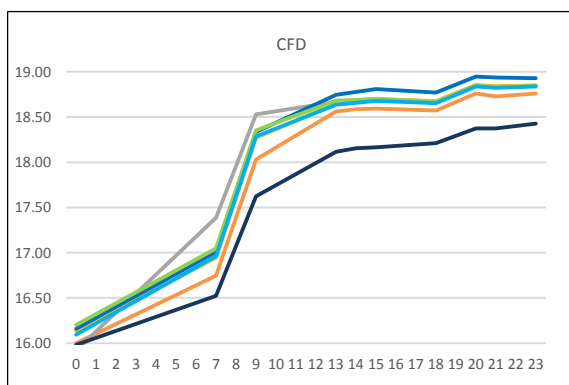
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
13	-1.3	0.0	-0.5	-0.6	-0.2	-0.3	-0.5	-2.1
16	-0.2	-0.2	-0.4	-0.3	-0.1	-0.4	-0.5	-1.9
19	-1.4	-1.2	-2.1	-1.9	-1.6	-1.3	-2.8	-2.0
21	-2.0	-1.6	-2.6	-2.5	-2.2	-1.9	-2.8	-2.0
23	-2.4	-2.0	-3.1	-3.0	-2.7	-2.2	-3.2	-2.1
平均	-1.5	-1.0	-1.7	-1.7	-1.4	-1.2	-2.0	-2.0



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7

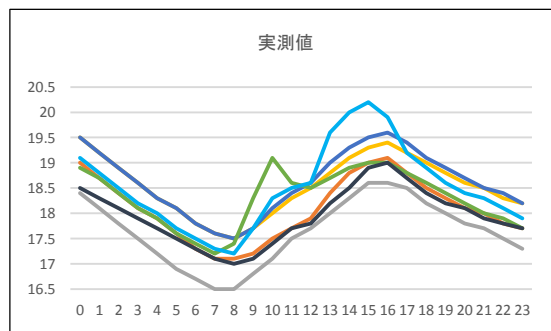
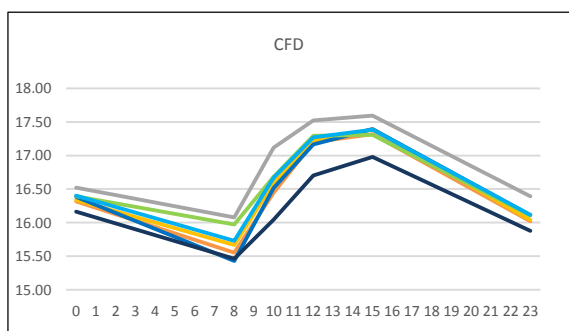
11月2日 差分値およびCFD解析グラフ

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-4.9	-4.9	-5.2	-5.2	-5.0	-5.1	-5.0	-3.6
7	-3.9	-3.1	-4.0	-4.0	-3.8	-4.3	-3.8	-3.1
9	-3.4	-2.2	-2.9	-3.0	-3.0	-3.4	-3.2	-2.9
13	-3.5	-2.8	-3.3	-3.3	-3.3	-3.6	-3.7	-3.1
14	-4.0	-3.2	-4.2	-4.1	-3.9	-3.9	-5.0	-3.1
15	-4.2	-3.5	-4.3	-4.1	-4.2	-4.2	-4.3	-3.1
18	-3.6	-3.2	-3.7	-3.7	-3.7	-3.8	-3.7	-3.1
20	-3.7	-3.3	-4.0	-4.0	-4.0	-3.9	-4.5	-3.1
21	-3.7	-3.3	-4.0	-3.9	-3.9	-3.9	-4.0	-3.1
23	-3.5	-3.2	-3.9	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.1
平均	-3.8	-3.3	-3.9	-3.9	-3.9	-4.0	-4.1	-3.1



11月16日 差分値およびCFD解析グラフ

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-2.7	-1.9	-3.2	-3.1	-2.5	-2.3	-2.7	-2.8
8	-1.5	-0.4	-1.8	-2.1	-1.4	-1.5	-1.5	-2.1
10	-1.1	0.0	-1.4	-1.6	-2.4	-1.4	-1.6	-5.3
12	-0.7	-0.2	-1.3	-1.4	-1.2	-1.1	-1.3	-5.0
15	-1.7	-1.0	-1.9	-2.1	-1.7	-1.9	-2.8	-5.9
23	-1.7	-0.9	-2.2	-2.1	-1.6	-1.8	-1.8	-2.3
平均	-1.6	-0.7	-2.0	-2.1	-1.8	-1.7	-2.0	-3.9



— センサー1 — センサー2 — センサー3 — センサー4 — センサー5 — センサー6 — センサー7



#### 4-3.4 解析結果と考察

CFD 解析では、グラフで見ると、実測値と同じような温度変化がみられる。しかし、細かく見ていくと、上昇度合やセンサーの相対関係が異なっていることがわかる（付録参照）。たとえば、CFD 解析上ではセンサー間の温度差がなかなか出ていないことが確認できる。9月17日のグラフでは、実測値の最大室内温度差はピークで1.5℃ほどであるが、CFD 解析では、センサー間の最大温度差は0.7℃とおおよそ実測値の半分ほどである。

これは CFD 解析における特徴の一つであり、室内温度差が現れない傾向がある。室内温度差がなかなか確認するのは、Design Builder の計算方法が定常状態であることに関係していることも考えられよう。定常状態は安定した時の熱流体の解析であるため、温度差が現れるという非定常的な状態の温熱環境の分析には限度があるといえる。

一方で、温度の上昇・下降度合は CFD 解析の方が上昇率は高いという傾向も確認できた。温度上昇・下降度合はエネルギーシミュレーションの表面温度計算によるものであり、Energy Plus での熱取得・熱損失が大きかったことを示す。熱取得、熱損失に関しては、設定項目では、断熱値の設定もしくは日射の精度などさまざまな要素が考えられる。そういった意味では、CFD 解析だけでなく、エネルギーシミュレーション段階との相関関係を今後探っていくことが必要となるだろう。

#### 4-4 CFD 解析（機器設定あり）による検証

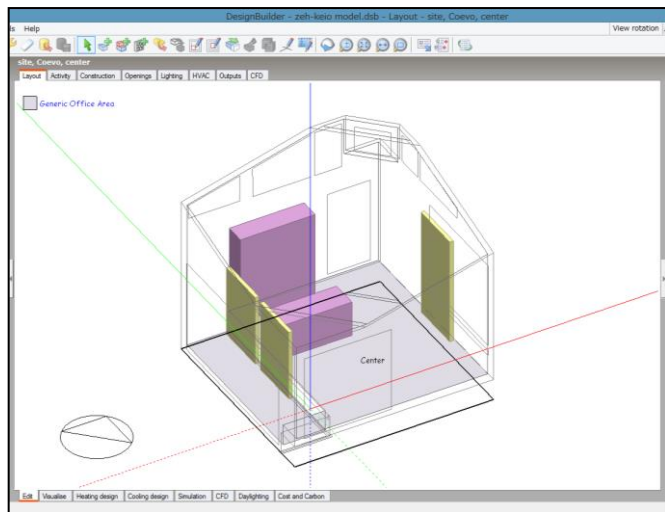
##### 4-4.1 条件設定

4-3 で行った解析日のうち、以下の 6 日間を機器の稼働を加えてシミュレーションを行った。設定にあたっては、実測日の消費電力等のデータを参照した。

- ・ PS : 8月8日、8月27日
- ・ 照明 : 10月27日、11月2日
- ・ OMソーラー : 10月19日、11月16日

##### PS ヒーター(冷房)の設定

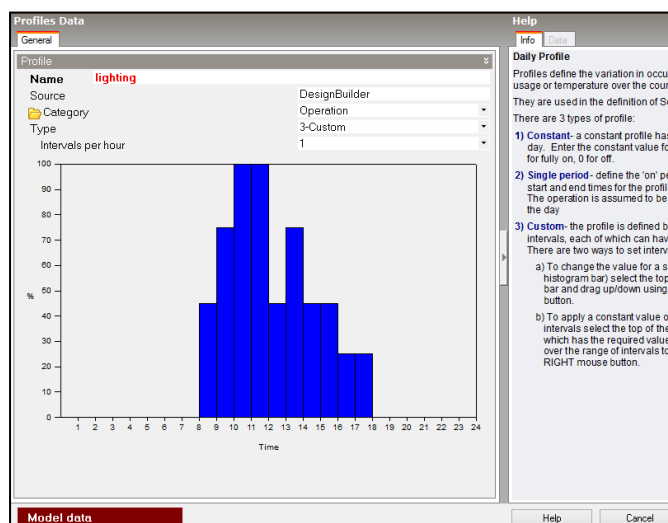
PS ヒーターは CFD 解析時に、コンポーネントモデルに温度を与えることで再現する。PS ヒーターは放射冷暖房であるが、エネルギーシミュレーションの設定項目にはない。そのため、稼働していないときの住宅の表面境界条件をインポートしたのち、CFD 解析を行うことになるため、完全に再現されているとはいえないが、CFD 解析時に PS ヒーターを入れることで、実際の PS ヒーターの温熱特徴がシミュレーションで再現されるかどうかを分析する。



なお、スペース 1 の PS ヒーターは、139×2000×10（横×高さ×奥行：mm）、スペース 3 側の PS ヒーターを 1390×3000×10（横×高さ×奥行：mm）としてモデリングし、設定温度を 18℃とした。

##### 照明機器の設定

照明はエネルギーシミュレーションにてタイムスケジュールを設定する。照明は 4(W/m<sup>2</sup>・100lux)とし、実際の 1 時間毎の消費電力量をもとに、0~100%で入力した。実際に使われなかった時間帯は 0%、実際の消費電力が通常の半分であった時間帯は、照明を入れていた時間が半分ほどであると



予測できるため、シミュレーション上でも 50%と入力した。

10月27日および11月2日の照明スケジュールは以下のとおりである。

10月27日

時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
%																	75	100	100	100	100	100	100	100	100

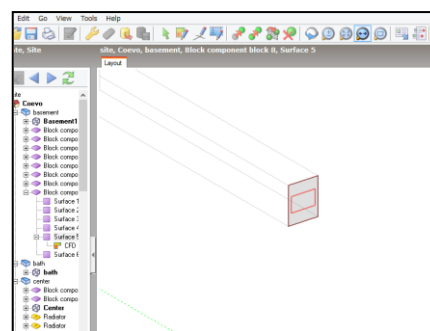
11月2日

時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
%															25				40	55				20	20

### OM ソーラーの設定

OM ソーラーも PS ヒーターと同様にエネルギーシミュレーションでの設定は不可能なことから、CFD 解析時にダクトの設定を行う。

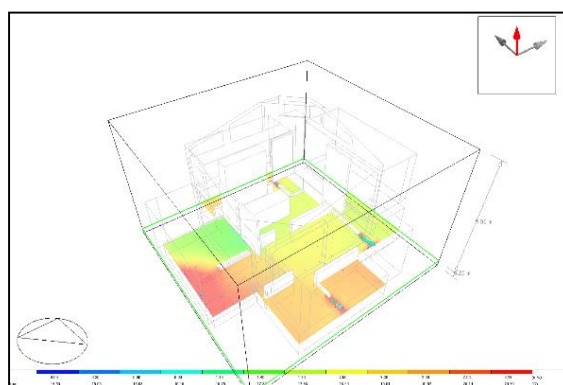
住宅の床下空間には立下りダクトから送られてくる温風の吹き出し口が 4 つあり、それぞれスペース 1、スペース 2、スペース 3、洗面所の下に設置してあり(別図参照)、図面をもとにモデリングを行った。



右の表は、10月19日と11月16日のCFD解析におけるOMソーラーの設定時刻と境界条件設定温度と吹き出し流量である。吹き出し温度はその時刻のセンシングデータを参照し、流量に関しては、センシングした風速をもとに算出した。

	温度	流量
10時	30°C	3l/s
15時	40°C	9l/s

	温度	流量
10時	45°C	9l/s
12時	40°C	9l/s
15時	35°C	3l/s



4-4. 2 解析結果1 (PS ヒーター)

8月8日

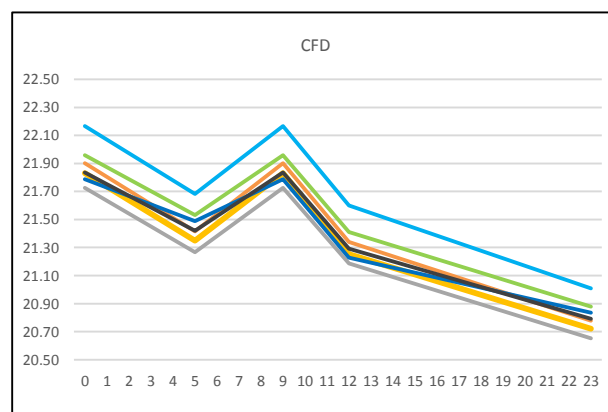
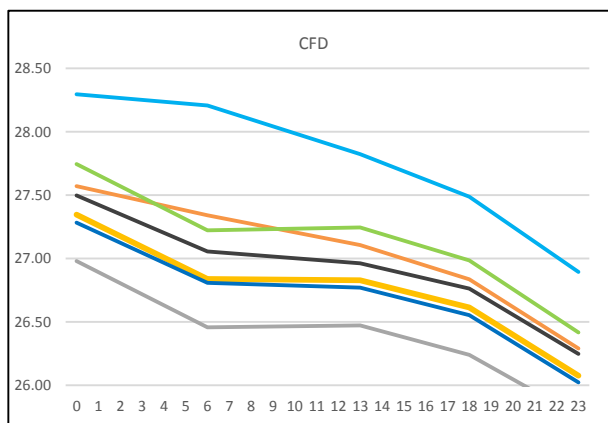
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	1.8	3.0	2.0	1.7	1.6	1.5	2.1	-3.7
6	2.5	3.6	2.6	2.3	2.1	2.0	3.0	-3.5
13	1.6	2.8	1.8	1.4	1.1	1.2	1.6	-3.5
18	1.1	2.3	1.1	0.9	0.9	0.8	1.3	-3.5
23	1.7	3.2	2.1	1.6	1.5	1.3	2.0	-3.3
平均	1.7	3.0	1.9	1.6	1.5	1.3	2.0	-3.5

8月27日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-4.1	-3.3	-4.2	-4.3	-4.2	-4.5	-4.3	-6.7
5	-4.1	-3.2	-4.2	-4.1	-4.2	-4.4	-4.1	-6.4
9	-3.4	-2.6	-3.4	-3.5	-3.3	-3.7	-3.3	-6.1
12	-4.0	-3.0	-3.7	-4.0	-3.8	-4.1	-3.9	-6.1
23	1.5	-3.6	-2.8	-3.5	-3.5	-3.6	-3.5	-6.1
平均	-2.8	-3.1	-3.6	-3.9	-3.8	-4.0	-3.8	-6.3

PS ヒーターを設定したところ、CFD 解析結果では、センサー温度は設定なしの時の温度と比べ、全体的に 0.3℃ほど下がる結果となった。グラフの形もほぼ相似形である。

また、8月8日。8月27日とも、PS ヒーター（冷房）の特徴である、センサー2（スペース1）の温度の下降は再現できていない。



4-4.3 解析結果2 (照明)

10月27日

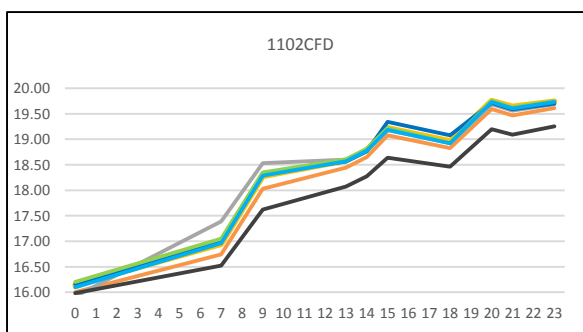
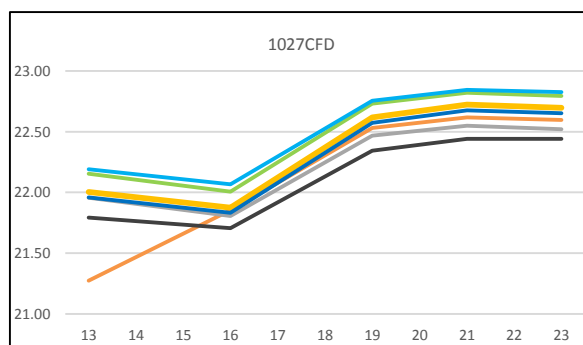
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
13	-1.3	0.0	-0.5	-0.6	-0.2	-0.3	-0.5	-2.1
16	-0.7	-0.7	-0.9	-1.1	-0.7	-0.8	-1.0	-2.1
19	-0.9	-0.7	-1.6	-1.5	-1.1	-0.8	-2.3	-1.9
21	-1.1	-0.8	-1.7	-1.7	-1.4	-1.1	-2.0	-1.8
23	-1.2	-0.9	-1.9	-1.9	-1.6	-1.1	-2.1	-1.8
平均	-1.0	-0.6	-1.3	-1.4	-1.0	-0.8	-1.6	-2.0

11月2日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-4.9	-4.9	-5.2	-5.2	-5.0	-5.1	-5.0	-3.6
7	-3.9	-3.1	-4.0	-4.0	-3.8	-4.3	-3.8	-3.1
9	-3.4	-2.2	-2.9	-3.0	-3.0	-3.4	-3.2	-2.9
13	-3.7	-2.9	-3.3	-3.4	-3.4	-3.6	-3.7	-3.1
14	-4.0	-3.1	-4.1	-4.1	-3.8	-3.8	-4.9	-3.1
15	-3.7	-3.0	-3.8	-3.6	-3.7	-3.8	-3.8	-2.9
18	-3.4	-3.0	-3.4	-3.4	-3.5	-3.5	-3.5	-3.0
20	-2.9	-2.4	-3.1	-3.2	-3.0	-3.1	-3.6	-2.9
21	-2.9	-2.5	-3.2	-3.2	-3.1	-3.2	-3.2	-2.9
23	-2.7	-2.3	-3.0	-3.0	-2.9	-2.9	-2.9	-2.8
平均	-3.5	-2.9	-3.6	-3.6	-3.5	-3.7	-3.8	-3.0

どちらの日程も照明を設定した時刻は温度上昇が確認でき、設定なしのCFD解析時よりも精度が上がったといえる。また、温度上昇・下降も照明の設定次第で

また、センサー6とセンサー2が比較的低い値になっており、センサー順位は精度が高いといえるCFD解析において、11月2日の朝から、センサー2が高い値を示すのは、日射の影響と思われる。実測値では、朝方はセンサー7とセンサー1が上昇している。



— センサー1    — センサー2    — センサー3    — センサー4  
— センサー5    — センサー6    — センサー7

4-4.4 解析結果3 (OMソーラー)

10月19日

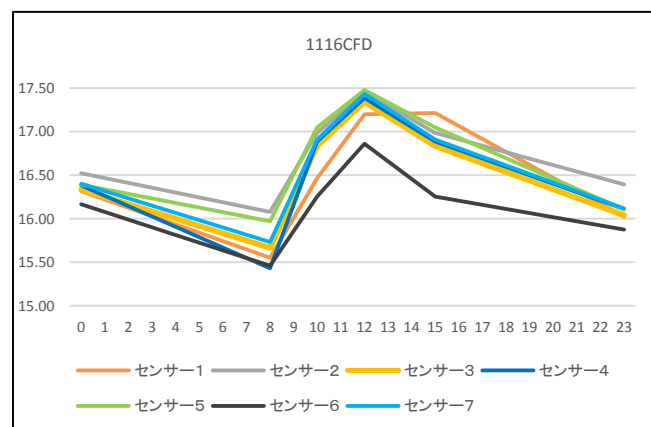
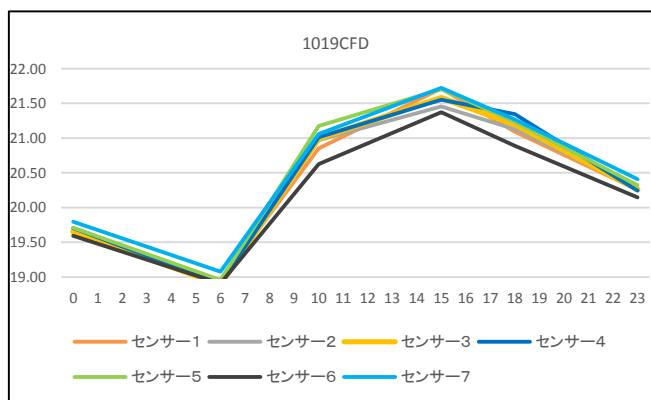
	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-1.6	-1.3	-1.9	-1.9	-1.6	-1.4	-1.7	-2.6
6	-1.9	-1.8	-2.3	-2.4	-1.9	-1.9	-2.0	-2.4
10	-0.9	0.1	-0.4	-0.5	-0.3	-0.3	-0.8	-2.6
15	-0.9	-0.3	-0.9	-1.1	-0.6	-0.4	-1.7	-5.2
18	-1.2	-0.8	-1.4	-1.3	-1.1	-1.0	-1.3	-3.6
23	-1.6	-1.4	-1.9	-2.1	-1.7	-1.6	-1.7	-2.8
	-1.4	-0.9	-1.5	-1.5	-1.2	-1.1	-1.5	-3.2

11月16日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	-2.7	-1.9	-3.2	-3.1	-2.5	-2.3	-2.7	-2.8
8	-1.5	-0.4	-1.8	-2.1	-1.4	-1.5	-1.5	-2.1
10	-1.0	-0.1	-1.2	-1.2	-2.1	-1.1	-1.4	-3.5
12	-0.7	-0.2	-1.2	-1.2	-1.0	-0.9	-1.2	-3.6
15	-1.8	-1.6	-2.5	-2.6	-2.0	-2.6	-3.3	-4.6
23	-1.7	-0.9	-2.2	-2.1	-1.6	-1.8	-1.8	-2.3
	-1.6	-0.9	-2.0	-2.1	-1.8	-1.7	-2.0	-3.1

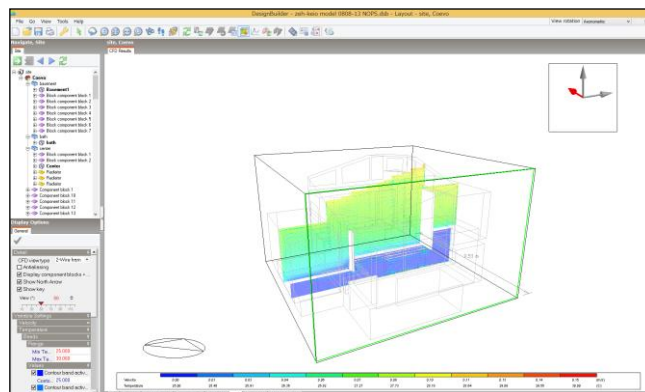
OMソーラー稼働時にセンサー5 (スペース3) およびセンサー7が上昇する傾向はCFD解析でも確認できる。

しかし、OMソーラーが稼働停止した後の、室内温熱状況をCFD上で再現するのは困難である。CFD解析上のみで、OMソーラーを設定することは、時間変化のシミュレーションを必要とする場合には不向きであるといえよう。

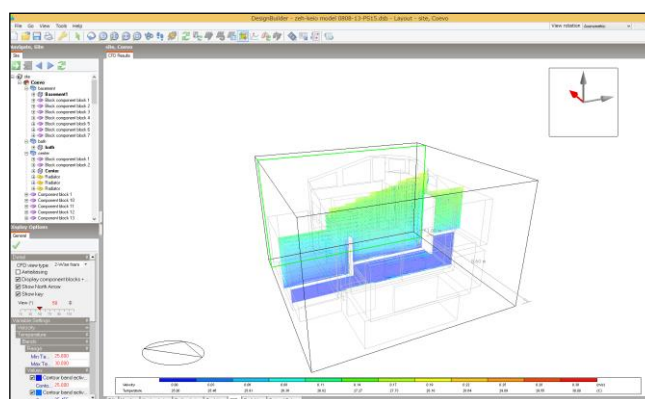


#### 4-4.5 解析結果と考察2

PS ヒーター・OM ソーラーの設定を加味した CFD 解析では、表面境界条件確定後に、設定を入力することで、単純な室内の温度上昇・下降現象を再現することは可能であった。右図は PS ヒーターを設定していない場合と、設定した場合の CFD 解析画面を示している。PS ヒーター表面から冷気が伝わり、全体を冷やしているのが分かる。



しかし、定常状態計算の CFD 解析においては、いつ表面境界条件をインポートするかが問題となる。温度変化のピークが必ずしも、設定者が入力した時刻と一致するとは限らないため、CFD 解析によって、1日の温度のピーク時を割り出すには、毎時間のシミュレーションを行



わなければならない、莫大な時間がかかる。このため、整合性検証においては、エネルギーシミュレーション上でいかに温度変化を予測し、ちょうど温度変化の始まる時刻の表面境界条件をインポートできるかが重要となる。

## 第五章 総括



### 5-1. 結論

本研究では、整合性検証と題して、シミュレーションの設定および実測値の分析、検証というステップを踏み、解析を行った。エネルギーシミュレーションでは、ゾーンのみの温度解析であり、それは日射や外気温の熱収支による温度計算であったため、室内の温度環境を分析する上では不十分であったが、定常状態の CFD 解析でも、エネルギーシミュレーションと組み合わせることにより、一定の温度上昇と下降の効果を再現することができ、定常状態解析による室内の時間軸を加味した温度変化を再現することが可能であるということがわかった。また、初期段階での設定の後に、そのシミュレーションの結果を統計的に分析し、シミュレーションの設定をし直す、というステップを踏むことで、誤差傾向を把握し、誤差修正の精度をあげる試行の方法を提示することができた。

### 5-2. 考察

本論から、考察すべきことは以下の 2 つである。

ひとつは、定常状態計算における CFD 解析の有効性とその限界についてである。定常状態であるとは、ある境界条件のもとで室内の温熱環境が安定し、温度変化が一定となった状態のときである。予備実験でも問題になったのが、CFD 解析上のセンサー間の温度差問題であり、室内温度差が出にくいという問題であった。室内の非定常的な状態を再現するためには、一定の温度差補正が必要になるだろうと思われる。また、CFD 解析においては、その時間に莫大な時間がかかることも問題である。そのシミュレーション時間を短縮しながら、より精度の高い予測を行うためには、エネルギーシミュレーションにおける統計的な分析手法による誤差傾向の把握が必要不可欠であり、そういった意味では、エネルギーシミュレーションと CFD 解析の相関性の把握が重要であり、そのための大量のデータ取得が必要であろう。今回の研究では、その相関性に踏み込み、こういったデータを取得し、どう比較分析すれば誤差傾向の把握が可能となりか、ということも重要なテーマの一つであったが、比較データの多さ・整理が必要な莫大なデータ量に対応した統計手法、また、より精度の高い室内実測データと室内状況（ブラインド・ドア・在室人数・活動状況）の取得が必要であり、慶應型共進化住宅のような一体空間でありながら、段差開口による室内環境の制御という複雑な室内環境の分析をするための高度な分析手法の開発が求められる。

もうひとつは、本研究で最大のキーワードとなる、‘整合性’とはいかなるものか、ということである。本研究では、環境シミュレーションの整合性をとるための‘誤差傾向の特定’が主な命題であり、環境シミュレーションと実測値が果たしてどういうときに誤差が大きくなるのか、もしくはどういう傾向がありそうか、ということを実量的に把握する手法の研究であった。そして、第一段階として、実測値と環境シミュレーション値の差分

をとり、差分値の1日の変化や、月ごとの平均を比較要素として用いることになった。しかし、何をもって誤差と呼び、何をもって正と判断するかという事が問題となった。それは、環境シミュレーションそのものの有用性を問うものでもあると考える。現在の建築設計における環境シミュレーションとは、ある種の住宅性能担保のアリバイの利用に過ぎない。環境シミュレーションの値が環境シミュレーションの整合性検証とは、環境シミュレーションがこれからの HEMS と連携しながら、住宅の温熱環境予測を可能とするための第一歩であると考ええる。

参考文献

- ・『CFDによる建築・都市の環境設計工学』(村上周三 2000)
- ・『1分間隔の室温シミュレーション法の精度検証(システムシミュレーション, 環境工学II)』(王福林、吉田治典、松本圭司、2006)
- ・『住宅の夏季の熱環境に関する実測とシミュレーションとの比較検討：その2 垂直温度分布の比較』(谷川朗子、石田建一、宇田川光弘、佐藤誠、藤田哲典、木村建一 1997)
- ・『住宅において木材を多用する事が温熱環境と住生活に与える影響に関する研究：その2 内装材の木材使用量の違いによる室内温熱環境シミュレーション(住宅の温熱環境,環境工学II,2012年度大会(東海)学術講演会・建築デザイン発表会)』(川村圭、中島裕輔、小濱 翔馬、高口洋人 2012)
- ・『CFDによる高断熱高气密住宅の夏期の温熱環境解析』(西澤繁毅、森太郎、絵内正道、羽山広文 1999)
- ・『教室における温熱空気環境の測定と環境改善手法のCFD解析による評価』(劉述照)
- ・『詳細な建物モデルを用いた温熱環境に関するCFD解析：その1放射冷房時の実験値と解析結果の比較』(加藤聡、泉卓成 2012)
- ・『実験用実大アトリウム内の熱伝達・気流性状に関するCFD解析 第2報 シミュレーション条件の単純化が予測結果に与える影響』(尾関義一、加藤信介、村上周三 1998)

## 謝辞

修士論文のテーマは大学院に入った時の私からは想像もしないテーマとなりました。大学院に入って1年目の夏に慶應型共進化住宅のプロジェクトがスタートしました（このときはそういう名前だとは知りませんでした）。プロジェクトは夏から多忙な日々で、プサンのワークショップに行きながら徹夜をしながら提案書を作成したのがつい昨日のことのようです。提案書が通ってからは、実施設計が始まりました。実施設計では大変なことも多く、発注ミスや寸法記入ミスなどさまざまな苦勞がありました。エネックス展示用にパネルを徹夜で作成したりと、実施設計以外にもいろいろな学外での発表を通じて、建築設計という枠だけにとどまらず、活動できたことはとても良い経験になりました。そして、実施設計で大屋根が立ち上がった時のことは今でも覚えています。自分たちが書いた図面通りに建物がたつ迫力を目の当たりにしました。この慶應型共進化住宅のプロジェクトはとても多忙で大変なプロジェクトでしたが、自分自身も大きく成長できたと思っています。

2年間、短い間でしたが、池田先生には大変お世話になりました。このプロジェクトでは死ぬほど怒られてばかりでしたが、先生のもとで学べた時間は大変貴重な時間だったと思います。池田研究室に入り、合宿やスタジオ・授業を通じて、先生の建築に対する考え方に触れることができた2年間でした。本当にありがとうございました。

また、慶應型共進化住宅プロジェクトでお世話になりました、伊香賀先生、西先生、小林光先生、ありがとうございました。い

また、研究員の阿部さん。阿部さんがいなかったら、おそらく共進化住宅はできあがっていなかったのではないかと思うほど、阿部さんにはいろいろ助けていただきました。ありがとうございました。

池田研究室同期の東・佐藤、各自使えるソフトも違って、大変なこともあったけれど、お疲れ様でした。

また猪野さん、安さん、1つ上の先輩として、面倒を見ていただきました。1年という間でしたが、森アート生活は充実していました。

森アート生活を支えてくれた、同期の酒井、石塚、宮下、松原、河本、吉野君。ありがとう。男ばかりだったけど楽しい2年間でした。

あと、家族。2年間学校に通わせてもらい感謝しています。2年間とてもいい環境で建築を学ぶことができました。

たくさんの森アートでお世話になった方々、ほんとうにお世話になりました。

## 付録

## CFD 解析値（設定なし）

8月8日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	28.05	27.65	27.95	27.91	28.26	27.99	28.65	22.32
6	27.80	27.09	27.41	27.38	27.70	27.51	28.57	22.02
13	27.56	27.10	27.40	27.35	27.73	27.42	28.19	21.96
18	27.27	26.85	27.16	27.12	27.46	27.21	27.84	21.87
23	26.70	26.33	26.59	26.55	26.86	26.67	27.22	21.69

8月27日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	22.02	21.92	22.03	22.19	22.17	22.00	22.25	19.78
5	21.57	21.47	21.55	21.67	21.70	21.59	21.81	19.62
9	21.47	21.37	21.43	21.53	21.61	21.46	21.70	19.55
12	21.50	21.38	21.46	21.57	21.63	21.46	21.73	19.54
23	20.90	20.82	20.89	20.98	21.02	20.93	21.11	19.32

9月17日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	22.11	21.97	22.05	22.03	22.20	22.04	22.38	19.77
5	22.06	21.90	21.98	21.96	22.13	22.02	22.34	19.78
10	23.52	23.38	23.45	23.39	23.68	23.19	23.90	20.18
12	23.85	23.61	23.75	23.69	24.00	23.48	24.26	20.26
14	23.81	23.54	23.74	23.68	23.93	23.53	24.19	20.27
23	22.83	22.65	22.77	22.73	22.92	22.70	23.14	20.04

9月24日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	20.76	20.67	20.73	20.82	20.87	20.68	20.95	19.17
6	20.81	20.50	20.58	20.63	20.76	20.51	21.13	19.09
9	21.69	21.55	21.63	21.77	21.85	21.34	21.94	19.41
13	22.34	22.19	22.38	22.59	22.56	22.00	22.59	19.67
23	21.47	21.36	21.46	21.58	21.62	21.33	21.69	19.49

10月5日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	22.71	22.59	22.69	22.65	22.80	22.63	22.97	20.04
5	22.14	22.02	22.10	22.07	22.21	22.11	22.39	19.83
10	21.39	21.28	21.32	21.31	21.44	21.41	21.63	19.54
14	20.82	20.72	20.74	20.73	20.86	20.88	21.05	19.31
19	20.16	20.07	20.06	20.07	20.18	20.24	20.36	19.03
23	19.76	19.69	19.68	19.68	19.78	19.85	19.94	18.86

10月12日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	21.23	21.18	21.23	21.34	21.36	21.21	21.46	19.41
8	20.38	20.39	20.36	20.40	20.53	20.42	20.61	19.07
13	21.06	20.91	20.91	20.95	21.14	20.95	21.31	19.16
15	20.74	20.62	20.67	20.76	20.83	20.69	20.97	19.08
20	20.03	19.99	20.02	20.09	20.12	20.07	20.22	18.90

10月19日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	19.64	19.68	19.65	19.70	19.71	19.60	19.80	18.74
6	18.95	18.95	18.89	18.91	18.96	18.91	19.08	18.45
10	20.88	21.27	20.98	21.03	21.21	20.50	21.07	19.05
15	21.63	21.59	21.68	21.84	21.75	21.35	21.82	19.29
18	21.09	21.13	21.20	21.35	21.24	20.89	21.27	19.22
23	20.26	20.28	20.26	20.24	20.32	20.15	20.41	19.00

10月21日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	20.95	20.93	20.93	20.90	21.06	20.79	21.14	19.32
10	19.73	19.75	19.69	19.70	19.84	19.69	19.89	18.82
15	20.95	20.93	20.93	20.90	21.06	20.79	21.14	19.32
17	19.58	19.53	19.52	19.52	19.59	19.54	19.72	18.70
21	19.46	19.42	19.42	19.42	19.48	19.42	19.58	18.66
23	19.32	19.31	19.31	19.34	19.36	19.30	19.44	18.62

10月26日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	19.79	19.82	19.79	19.77	19.86	19.68	19.91	18.74
6	19.66	19.71	19.60	19.61	19.78	19.43	19.83	18.63
14	21.74	21.69	21.76	21.90	21.93	21.37	21.95	19.34
15	21.52	21.53	21.59	21.52	21.68	21.21	21.69	19.32
18	21.09	21.12	21.19	21.33	21.28	20.86	21.25	19.26
23	20.54	20.54	20.55	20.51	20.64	20.39	20.68	19.11

10月27日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
13	21.27	21.96	22.00	21.96	22.15	21.79	22.19	19.57
16	22.37	22.29	22.41	22.58	22.61	22.06	22.61	19.76
19	22.01	21.97	22.08	22.24	22.25	21.79	22.25	19.67
21	21.74	21.71	21.80	21.95	21.97	21.57	21.99	19.59
23	21.45	21.41	21.49	21.62	21.65	21.31	21.69	19.49

11月2日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	16.00	15.92	16.14	16.16	16.20	15.98	16.09	17.27
7	16.74	17.39	16.94	17.01	17.05	16.52	16.96	17.40
9	18.03	18.53	18.27	18.34	18.35	17.62	18.28	17.80
13	18.56	18.67	18.65	18.75	18.68	18.11	18.64	18.03
14	18.59	18.68	18.68	18.78	18.69	18.16	18.66	18.08
15	18.59	18.70	18.70	18.81	18.70	18.17	18.68	18.11
18	18.57	18.68	18.68	18.77	18.66	18.21	18.66	18.19
20	18.76	18.85	18.86	18.95	18.85	18.37	18.84	18.27
21	18.73	18.83	18.84	18.94	18.83	18.38	18.82	18.28
23	18.76	18.85	18.85	18.93	18.85	18.43	18.84	18.30

11月16日

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	16.31	16.52	16.33	16.38	16.39	16.16	16.40	17.46
8	15.55	16.08	15.67	15.43	15.97	15.46	15.73	17.11
10	16.44	17.12	16.59	16.52	16.68	16.05	16.67	16.95
12	17.20	17.52	17.22	17.16	17.29	16.70	17.27	17.17
15	17.32	17.60	17.39	17.39	17.31	16.98	17.38	17.37
23	16.02	16.39	16.04	16.11	16.11	15.88	16.12	17.32

## CFD 解析値 (設定あり)

8月8日 (PS ヒーター)

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	27.57	26.98	27.35	27.28	27.74	27.50	28.30	21.91
6	27.34	26.46	26.84	26.81	27.22	27.06	28.21	21.56
13	27.11	26.47	26.83	26.77	27.24	26.96	27.82	21.49
18	26.83	26.24	26.61	26.55	26.98	26.76	27.49	21.50
23	26.29	25.76	26.07	26.02	26.42	26.25	26.89	21.27

8月27日 (PS ヒーター)

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	21.90	21.73	21.83	21.79	21.96	21.84	22.17	19.62
5	21.42	21.27	21.35	21.49	21.53	21.42	21.68	19.47
9	21.90	21.73	21.83	21.79	21.96	21.84	22.17	19.62
12	21.34	21.19	21.25	21.23	21.41	21.29	21.60	19.39
23	20.78	20.65	20.72	20.83	20.88	20.79	21.01	19.18

10月27日 (照明)

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
13	21.27	21.96	22.00	21.96	22.15	21.79	22.19	19.57
16	21.85	21.81	21.87	21.83	22.01	21.71	22.07	19.57
19	22.53	22.47	22.62	22.57	22.73	22.34	22.75	19.77
21	22.62	22.55	22.72	22.68	22.82	22.44	22.84	19.81
23	22.60	22.52	22.70	22.65	22.79	22.44	22.83	19.80

11月2日 (照明)

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	16.00	15.92	16.14	16.16	16.20	15.98	16.09	17.27
7	16.74	17.39	16.94	17.01	17.05	16.52	16.96	17.40
9	18.03	18.53	18.27	18.34	18.35	17.62	18.28	17.80
13	18.45	18.60	18.58	18.56	18.61	18.07	18.57	18.01
14	18.65	18.79	18.79	18.76	18.81	18.28	18.78	18.11
15	19.08	19.18	19.22	19.34	19.22	18.64	19.18	18.25
18	18.83	18.93	18.96	19.07	18.93	18.46	18.92	18.27
20	19.59	19.68	19.75	19.71	19.76	19.20	19.73	18.52
21	19.47	19.56	19.64	19.59	19.62	19.09	19.60	18.51
23	19.61	19.68	19.74	19.70	19.75	19.26	19.73	18.57



10月19日 (OMソーラー)

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	19.64	19.68	19.65	19.70	19.71	19.60	19.80	18.74
6	18.95	18.95	18.89	18.91	18.96	18.91	19.08	18.45
10	20.85	20.97	20.99	21.01	21.18	20.63	21.06	19.35
15	21.71	21.46	21.58	21.56	21.71	21.37	21.72	20.11
18	21.09	21.13	21.20	21.35	21.24	20.89	21.27	19.22
23	20.26	20.28	20.26	20.24	20.32	20.15	20.41	19.00

11月16日 (OMソーラー)

	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー5	センサー6	センサー7	センサー10
0	19.64	19.68	19.65	19.70	19.71	19.60	19.80	18.74
6	18.95	18.95	18.89	18.91	18.96	18.91	19.08	18.45
10	20.85	20.97	20.99	21.01	21.18	20.63	21.06	19.35
15	21.71	21.46	21.58	21.56	21.71	21.37	21.72	20.11
18	21.09	21.13	21.20	21.35	21.24	20.89	21.27	19.22
23	20.26	20.28	20.26	20.24	20.32	20.15	20.41	19.00

## CFD 解析値順位

8月8日（設定なし）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	28.65(1)	28.26(0.6)	28.05(0.4)	27.99(0.3)	27.95(0.3)	27.91(0.3)	27.65(0)
6	センサー7	センサー1	センサー5	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	28.57(1.5)	27.8(0.6)	27.7(0.4)	27.51(0.3)	27.41(0.3)	27.38(0.3)	27.09(0)
13	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	28.19(1.1)	27.73(0.6)	27.56(0.4)	27.42(0.3)	27.4(0.3)	27.35(0.3)	27.1(0)
18	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	27.84(1)	27.46(0.6)	27.27(0.4)	27.21(0.3)	27.16(0.3)	27.12(0.3)	26.85(0)
23	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	27.22(0.9)	26.86(0.6)	26.7(0.4)	26.67(0.3)	26.59(0.3)	26.55(0.3)	26.33(0)

8月8日（PS ヒーター）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	28.3(1.3)	27.74(0.8)	27.57(0.6)	27.5(0.5)	27.35(0.4)	27.28(0.3)	26.98(0)
6	センサー7	センサー1	センサー5	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	28.21(1.8)	27.34(0.9)	27.22(0.8)	27.06(0.6)	26.84(0.4)	26.81(0.3)	26.46(0)
13	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	27.82(1.4)	27.24(0.8)	27.11(0.6)	26.96(0.5)	26.83(0.4)	26.77(0.3)	26.47(0)
18	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	27.49(1.3)	26.98(0.7)	26.83(0.6)	26.76(0.5)	26.61(0.4)	26.55(0.3)	26.24(0)
23	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	26.89(1.1)	26.42(0.7)	26.29(0.5)	26.25(0.5)	26.07(0.3)	26.02(0.3)	25.76(0)

8月27日（設定なし）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー1	センサー6	センサー2
	22.25(0.3)	22.19(0.6)	22.17(0.4)	22.03(0.3)	22.02(0.3)	22(0.3)	21.92(0)
5	センサー7	センサー5	センサー4	センサー6	センサー1	センサー3	センサー2
	21.81(0.3)	21.7(0.6)	21.67(0.4)	21.59(0.3)	21.57(0.3)	21.55(0.3)	21.47(0)
9	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー6	センサー3	センサー2
	21.7(0.3)	21.61(0.6)	21.53(0.4)	21.47(0.3)	21.46(0.3)	21.43(0.3)	21.37(0)
12	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー3	センサー6	センサー2
	21.73(0.3)	21.63(0.6)	21.57(0.4)	21.5(0.3)	21.46(0.3)	21.46(0.3)	21.38(0)
23	センサー7	センサー5	センサー4	センサー6	センサー1	センサー3	センサー2
	21.11(0.3)	21.02(0.6)	20.98(0.4)	20.93(0.3)	20.9(0.3)	20.89(0.3)	20.82(0)

8月27日 (PS ヒーター)

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	22.17(0.4)	21.96(0.2)	21.9(0.2)	21.84(0.1)	21.83(0.1)	21.79(0.1)	21.73(0)
5	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー6	センサー3	センサー2
	21.68(0.4)	21.53(0.3)	21.49(0.2)	21.42(0.2)	21.42(0.2)	21.35(0.1)	21.27(0)
9	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	22.17(0.4)	21.96(0.2)	21.9(0.2)	21.84(0.1)	21.83(0.1)	21.79(0.1)	21.73(0)
12	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	21.6(0.4)	21.41(0.2)	21.34(0.1)	21.29(0.1)	21.25(0.1)	21.23(0)	21.19(0)
23	センサー7	センサー5	センサー4	センサー6	センサー1	センサー3	センサー2
	21.01(0.4)	20.88(0.2)	20.83(0.2)	20.79(0.1)	20.78(0.1)	20.72(0.1)	20.65(0)

9月17日 (設定なし)

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー6	センサー4	センサー2
	22.38(0.4)	22.2(0.6)	22.11(0.4)	22.05(0.3)	22.04(0.3)	22.03(0.3)	21.97(0)
5	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	22.34(0.4)	22.13(0.6)	22.06(0.4)	22.02(0.3)	21.98(0.3)	21.96(0.3)	21.9(0)
10	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー4	センサー2	センサー6
	23.9(0.7)	23.68(0.6)	23.52(0.4)	23.45(0.3)	23.39(0.3)	23.38(0.3)	23.19(0)
12	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー4	センサー2	センサー6
	24.26(0.8)	24(0.6)	23.85(0.4)	23.75(0.3)	23.69(0.3)	23.61(0.3)	23.48(0)
14	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー4	センサー2	センサー6
	24.19(0.7)	23.93(0.6)	23.81(0.4)	23.74(0.3)	23.68(0.3)	23.54(0.3)	23.53(0)
23	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー4	センサー6	センサー2
	23.14(0.5)	22.92(0.6)	22.83(0.4)	22.77(0.3)	22.73(0.3)	22.7(0.3)	22.65(0)

9月24日 (設定なし)

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー3	センサー6	センサー2
	20.95(0.3)	20.87(0.6)	20.82(0.4)	20.76(0.3)	20.73(0.3)	20.68(0.3)	20.67(0)
6	センサー7	センサー1	センサー5	センサー4	センサー3	センサー6	センサー2
	21.13(0.6)	20.81(0.6)	20.76(0.4)	20.63(0.3)	20.58(0.3)	20.51(0.3)	20.5(0)
9	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー3	センサー2	センサー6
	21.94(0.6)	21.85(0.6)	21.77(0.4)	21.69(0.3)	21.63(0.3)	21.55(0.3)	21.34(0)
13	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー1	センサー2	センサー6
	22.59(0.6)	22.59(0.6)	22.56(0.4)	22.38(0.3)	22.34(0.3)	22.19(0.3)	22(0)
23	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー3	センサー2	センサー6
	21.69(0.4)	21.62(0.6)	21.58(0.4)	21.47(0.3)	21.46(0.3)	21.36(0.3)	21.33(0)

10月5日（設定なし）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー4	センサー6	センサー2
	22.97(0.4)	22.8(0.2)	22.71(0.1)	22.69(0.1)	22.65(0.1)	22.63(0)	22.59(0)
5	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー3	センサー4	センサー2
	22.39(0.4)	22.21(0.2)	22.14(0.1)	22.11(0.1)	22.1(0.1)	22.07(0.1)	22.02(0)
10	センサー7	センサー5	センサー6	センサー1	センサー3	センサー4	センサー2
	21.63(0.4)	21.44(0.2)	21.41(0.1)	21.39(0.1)	21.32(0)	21.31(0)	21.28(0)
14	センサー7	センサー6	センサー5	センサー1	センサー3	センサー4	センサー2
	21.05(0.3)	20.88(0.2)	20.86(0.1)	20.82(0.1)	20.74(0)	20.73(0)	20.72(0)
19	センサー7	センサー6	センサー5	センサー1	センサー4	センサー2	センサー3
	20.36(0.3)	20.24(0.2)	20.18(0.1)	20.16(0.1)	20.07(0)	20.07(0)	20.06(0)
23	センサー7	センサー6	センサー5	センサー1	センサー2	センサー4	センサー3
	19.94(0.3)	19.85(0.2)	19.78(0.1)	19.76(0.1)	19.69(0)	19.68(0)	19.68(0)

10月12日（設定なし）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー6	センサー2
	21.46(0.3)	21.36(0.6)	21.34(0.4)	21.23(0.3)	21.23(0.3)	21.21(0.3)	21.18(0)
8	センサー7	センサー5	センサー6	センサー4	センサー2	センサー1	センサー3
	20.61(0.3)	20.53(0.6)	20.42(0.4)	20.4(0.3)	20.39(0.3)	20.38(0.3)	20.36(0)
13	センサー7	センサー5	センサー1	センサー4	センサー6	センサー2	センサー3
	21.31(0.4)	21.14(0.6)	21.06(0.4)	20.95(0.3)	20.95(0.3)	20.91(0.3)	20.91(0)
15	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー6	センサー3	センサー2
	20.97(0.4)	20.83(0.6)	20.76(0.4)	20.74(0.3)	20.69(0.3)	20.67(0.3)	20.62(0)
20	センサー7	センサー5	センサー4	センサー6	センサー1	センサー3	センサー2
	20.22(0.2)	20.12(0.6)	20.09(0.4)	20.07(0.3)	20.03(0.3)	20.02(0.3)	19.99(0)

10月19日（設定なし）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー4	センサー2	センサー3	センサー1	センサー6
	19.8(0.2)	19.71(0.6)	19.7(0.4)	19.68(0.3)	19.65(0.3)	19.64(0.3)	19.6(0)
6	センサー7	センサー5	センサー2	センサー1	センサー4	センサー6	センサー3
	19.08(0.2)	18.96(0.6)	18.95(0.4)	18.95(0.3)	18.91(0.3)	18.91(0.3)	18.89(0)
10	センサー2	センサー5	センサー7	センサー4	センサー3	センサー1	センサー6
	21.27(0.8)	21.21(0.6)	21.07(0.4)	21.03(0.3)	20.98(0.3)	20.88(0.3)	20.5(0)
15	センサー4	センサー7	センサー5	センサー3	センサー1	センサー2	センサー6
	21.84(0.5)	21.82(0.6)	21.75(0.4)	21.68(0.3)	21.63(0.3)	21.59(0.3)	21.35(0)
18	センサー4	センサー7	センサー5	センサー3	センサー2	センサー1	センサー6
	21.35(0.5)	21.27(0.6)	21.24(0.4)	21.2(0.3)	21.13(0.3)	21.09(0.3)	20.89(0)
23	センサー7	センサー5	センサー2	センサー3	センサー1	センサー4	センサー6
	20.41(0.3)	20.32(0.6)	20.28(0.4)	20.26(0.3)	20.26(0.3)	20.24(0.3)	20.15(0)

10月19日 (OM ソーラー)

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー4	センサー2	センサー3	センサー1	センサー6
	19.8(0.2)	19.71(0.1)	19.7(0.1)	19.68(0.1)	19.65(0)	19.64(0)	19.6(0)
6	センサー7	センサー5	センサー1	センサー2	センサー4	センサー6	センサー3
	19.08(0.2)	18.96(0.1)	18.95(0.1)	18.95(0.1)	18.91(0)	18.91(0)	18.89(0)
10	センサー5	センサー7	センサー4	センサー3	センサー2	センサー1	センサー6
	21.18(0.6)	21.06(0.4)	21.01(0.4)	20.99(0.4)	20.97(0.3)	20.85(0.2)	20.63(0)
15	センサー7	センサー1	センサー5	センサー3	センサー4	センサー2	センサー6
	21.72(0.3)	21.71(0.3)	21.71(0.3)	21.58(0.2)	21.56(0.2)	21.46(0.1)	21.37(0)
18	センサー4	センサー7	センサー5	センサー3	センサー2	センサー1	センサー6
	21.35(0.5)	21.27(0.4)	21.24(0.3)	21.2(0.3)	21.13(0.2)	21.09(0.2)	20.89(0)
23	センサー7	センサー5	センサー2	センサー1	センサー3	センサー4	センサー6
	20.41(0.3)	20.32(0.2)	20.28(0.1)	20.26(0.1)	20.26(0.1)	20.24(0.1)	20.15(0)

10月21日 (設定なし)

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー2	センサー4	センサー6
	21.14(0.3)	21.06(0.6)	20.95(0.4)	20.93(0.3)	20.93(0.3)	20.9(0.3)	20.79(0)
10	センサー7	センサー5	センサー2	センサー1	センサー4	センサー6	センサー3
	19.89(0.2)	19.84(0.6)	19.75(0.4)	19.73(0.3)	19.7(0.3)	19.69(0.3)	19.69(0)
15	センサー7	センサー5	センサー1	センサー3	センサー2	センサー4	センサー6
	21.14(0.3)	21.06(0.6)	20.95(0.4)	20.93(0.3)	20.93(0.3)	20.9(0.3)	20.79(0)
17	センサー7	センサー5	センサー1	センサー6	センサー2	センサー3	センサー4
	19.72(0.2)	19.59(0.6)	19.58(0.4)	19.54(0.3)	19.53(0.3)	19.52(0.3)	19.52(0)
21	センサー7	センサー5	センサー1	センサー2	センサー3	センサー4	センサー6
	19.58(0.2)	19.48(0.6)	19.46(0.4)	19.42(0.3)	19.42(0.3)	19.42(0.3)	19.42(0)
23	センサー7	センサー5	センサー4	センサー1	センサー2	センサー3	センサー6
	19.44(0.1)	19.36(0.6)	19.34(0.4)	19.32(0.3)	19.31(0.3)	19.31(0.3)	19.3(0)

10月26日 (設定なし)

1026	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー7	センサー5	センサー2	センサー3	センサー1	センサー4	センサー6
	19.91(0.2)	19.86(0.6)	19.82(0.4)	19.79(0.3)	19.79(0.3)	19.77(0.3)	19.68(0)
6	センサー7	センサー5	センサー2	センサー1	センサー4	センサー3	センサー6
	19.83(0.4)	19.78(0.6)	19.71(0.4)	19.66(0.3)	19.61(0.3)	19.6(0.3)	19.43(0)
14	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー2	センサー6
	21.95(0.6)	21.93(0.6)	21.9(0.4)	21.76(0.3)	21.74(0.3)	21.69(0.3)	21.37(0)
15	センサー7	センサー5	センサー3	センサー2	センサー4	センサー1	センサー6
	21.69(0.5)	21.68(0.6)	21.59(0.4)	21.53(0.3)	21.52(0.3)	21.52(0.3)	21.21(0)
18	センサー4	センサー5	センサー7	センサー3	センサー2	センサー1	センサー6
	21.33(0.5)	21.28(0.6)	21.25(0.4)	21.19(0.3)	21.12(0.3)	21.09(0.3)	20.86(0)
23	センサー7	センサー5	センサー3	センサー2	センサー1	センサー4	センサー6
	20.68(0.3)	20.64(0.6)	20.55(0.4)	20.54(0.3)	20.54(0.3)	20.51(0.3)	20.39(0)

10月27日（設定なし）

	1	2	3	4	5	6	7
13	センサー7	センサー5	センサー3	センサー4	センサー2	センサー6	センサー1
	22.19(0.9)	22.15(0.6)	22(0.4)	21.96(0.3)	21.96(0.3)	21.79(0.3)	21.27(0)
16	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー2	センサー6
	22.61(0.6)	22.61(0.6)	22.58(0.4)	22.41(0.3)	22.37(0.3)	22.29(0.3)	22.06(0)
19	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー2	センサー6
	22.25(0.5)	22.25(0.6)	22.24(0.4)	22.08(0.3)	22.01(0.3)	21.97(0.3)	21.79(0)
21	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー2	センサー6
	21.99(0.4)	21.97(0.6)	21.95(0.4)	21.8(0.3)	21.74(0.3)	21.71(0.3)	21.57(0)
23	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー2	センサー6
	21.69(0.4)	21.65(0.6)	21.62(0.4)	21.49(0.3)	21.45(0.3)	21.41(0.3)	21.31(0)

10月27日（照明）

	1	2	3	4	5	6	7
13	センサー7	センサー5	センサー3	センサー2	センサー4	センサー6	センサー1
	22.19(0.9)	22.15(0.9)	22(0.7)	21.96(0.7)	21.96(0.7)	21.79(0.5)	21.27(0)
16	センサー7	センサー5	センサー3	センサー1	センサー4	センサー2	センサー6
	22.07(0.4)	22.01(0.3)	21.87(0.2)	21.85(0.1)	21.83(0.1)	21.81(0.1)	21.71(0)
19	センサー7	センサー5	センサー3	センサー4	センサー1	センサー2	センサー6
	22.75(0.4)	22.73(0.4)	22.62(0.3)	22.57(0.2)	22.53(0.2)	22.47(0.1)	22.34(0)
21	センサー7	センサー5	センサー3	センサー4	センサー1	センサー2	センサー6
	22.84(0.4)	22.82(0.4)	22.72(0.3)	22.68(0.2)	22.62(0.2)	22.55(0.1)	22.44(0)
23	センサー7	センサー5	センサー3	センサー4	センサー1	センサー2	センサー6
	22.83(0.4)	22.79(0.3)	22.7(0.3)	22.65(0.2)	22.6(0.2)	22.52(0.1)	22.44(0)

11月2日（設定なし）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー5	センサー4	センサー3	センサー7	センサー1	センサー6	センサー2
	16.2(0.3)	16.16(0.6)	16.14(0.4)	16.09(0.3)	16(0.3)	15.98(0.3)	15.92(0)
7	センサー2	センサー5	センサー4	センサー7	センサー3	センサー1	センサー6
	17.39(0.9)	17.05(0.6)	17.01(0.4)	16.96(0.3)	16.94(0.3)	16.74(0.3)	16.52(0)
9	センサー2	センサー5	センサー4	センサー7	センサー3	センサー1	センサー6
	18.53(0.9)	18.35(0.6)	18.34(0.4)	18.28(0.3)	18.27(0.3)	18.03(0.3)	17.62(0)
13	センサー4	センサー5	センサー2	センサー3	センサー7	センサー1	センサー6
	18.75(0.6)	18.68(0.6)	18.67(0.4)	18.65(0.3)	18.64(0.3)	18.56(0.3)	18.11(0)
14	センサー4	センサー5	センサー2	センサー3	センサー7	センサー1	センサー6
	18.78(0.6)	18.69(0.6)	18.68(0.4)	18.68(0.3)	18.66(0.3)	18.59(0.3)	18.16(0)
15	センサー4	センサー5	センサー3	センサー2	センサー7	センサー1	センサー6
	18.81(0.6)	18.7(0.6)	18.7(0.4)	18.7(0.3)	18.68(0.3)	18.59(0.3)	18.17(0)
18	センサー4	センサー2	センサー3	センサー5	センサー7	センサー1	センサー6
	18.77(0.6)	18.68(0.6)	18.68(0.4)	18.66(0.3)	18.66(0.3)	18.57(0.3)	18.21(0)
20	センサー4	センサー3	センサー2	センサー5	センサー7	センサー1	センサー6
	18.95(0.6)	18.86(0.6)	18.85(0.4)	18.85(0.3)	18.84(0.3)	18.76(0.3)	18.37(0)
21	センサー4	センサー3	センサー2	センサー5	センサー7	センサー1	センサー6
	18.94(0.6)	18.84(0.6)	18.83(0.4)	18.83(0.3)	18.82(0.3)	18.73(0.3)	18.38(0)
23	センサー4	センサー2	センサー3	センサー5	センサー7	センサー1	センサー6
	18.93(0.5)	18.85(0.6)	18.85(0.4)	18.85(0.3)	18.84(0.3)	18.76(0.3)	18.43(0)

11月2日（照明）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー5	センサー4	センサー3	センサー7	センサー1	センサー6	センサー2
	16.2(0.3)	16.16(0.2)	16.14(0.2)	16.09(0.2)	16(0.1)	15.98(0.1)	15.92(0)
7	センサー2	センサー5	センサー4	センサー7	センサー3	センサー1	センサー6
	17.39(0.9)	17.05(0.5)	17.01(0.5)	16.96(0.4)	16.94(0.4)	16.74(0.2)	16.52(0)
9	センサー2	センサー5	センサー4	センサー7	センサー3	センサー1	センサー6
	18.53(0.9)	18.35(0.7)	18.34(0.7)	18.28(0.7)	18.27(0.6)	18.03(0.4)	17.62(0)
13	センサー5	センサー2	センサー3	センサー7	センサー4	センサー1	センサー6
	18.61(0.5)	18.6(0.5)	18.58(0.5)	18.57(0.5)	18.56(0.5)	18.45(0.4)	18.07(0)
14	センサー5	センサー2	センサー3	センサー7	センサー4	センサー1	センサー6
	18.81(0.5)	18.79(0.5)	18.79(0.5)	18.78(0.5)	18.76(0.5)	18.65(0.4)	18.28(0)
15	センサー4	センサー3	センサー5	センサー2	センサー7	センサー1	センサー6
	19.34(0.7)	19.22(0.6)	19.22(0.6)	19.18(0.5)	19.18(0.5)	19.08(0.4)	18.64(0)
18	センサー4	センサー3	センサー2	センサー5	センサー7	センサー1	センサー6
	19.07(0.6)	18.96(0.5)	18.93(0.5)	18.93(0.5)	18.92(0.5)	18.83(0.4)	18.46(0)
20	センサー5	センサー3	センサー7	センサー4	センサー2	センサー1	センサー6
	19.76(0.6)	19.75(0.6)	19.73(0.5)	19.71(0.5)	19.68(0.5)	19.59(0.4)	19.2(0)
21	センサー3	センサー5	センサー7	センサー4	センサー2	センサー1	センサー6
	19.64(0.6)	19.62(0.5)	19.6(0.5)	19.59(0.5)	19.56(0.5)	19.47(0.4)	19.09(0)
23	センサー5	センサー3	センサー7	センサー4	センサー2	センサー1	センサー6
	19.75(0.5)	19.74(0.5)	19.73(0.5)	19.7(0.4)	19.68(0.4)	19.61(0.3)	19.26(0)

11月16日（設定なし）

1116	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー2	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー6
	16.52(0.4)	16.4(0.6)	16.39(0.4)	16.38(0.3)	16.33(0.3)	16.31(0.3)	16.16(0)
8	センサー2	センサー5	センサー7	センサー3	センサー1	センサー6	センサー4
	16.08(0.7)	15.97(0.6)	15.73(0.4)	15.67(0.3)	15.55(0.3)	15.46(0.3)	15.43(0)
10	センサー2	センサー5	センサー7	センサー3	センサー4	センサー1	センサー6
	17.12(1.1)	16.68(0.6)	16.67(0.4)	16.59(0.3)	16.52(0.3)	16.44(0.3)	16.05(0)
12	センサー2	センサー5	センサー7	センサー3	センサー1	センサー4	センサー6
	17.52(0.8)	17.29(0.6)	17.27(0.4)	17.22(0.3)	17.2(0.3)	17.16(0.3)	16.7(0)
15	センサー2	センサー4	センサー3	センサー7	センサー1	センサー5	センサー6
	17.6(0.6)	17.39(0.6)	17.39(0.4)	17.38(0.3)	17.32(0.3)	17.31(0.3)	16.98(0)
23	センサー2	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー1	センサー6
	16.39(0.5)	16.12(0.6)	16.11(0.4)	16.11(0.3)	16.04(0.3)	16.02(0.3)	15.88(0)

11月16日（OMソーラー）

	1	2	3	4	5	6	7
0	センサー2	センサー7	センサー5	センサー4	センサー3	センサー1	センサー6
	16.52(0.4)	16.4(0.2)	16.39(0.2)	16.38(0.2)	16.33(0.2)	16.31(0.1)	16.16(0)
8	センサー2	センサー5	センサー7	センサー3	センサー1	センサー6	センサー4
	16.08(0.6)	15.97(0.5)	15.73(0.3)	15.67(0.2)	15.55(0.1)	15.46(0)	15.43(0)
10	センサー5	センサー2	センサー7	センサー4	センサー3	センサー1	センサー6
	17.05(0.8)	16.98(0.7)	16.91(0.7)	16.89(0.6)	16.83(0.6)	16.46(0.2)	16.25(0)
12	センサー5	センサー2	センサー7	センサー4	センサー3	センサー1	センサー6
	17.48(0.6)	17.46(0.6)	17.43(0.6)	17.39(0.5)	17.34(0.5)	17.2(0.3)	16.86(0)
15	センサー1	センサー5	センサー2	センサー7	センサー4	センサー3	センサー6
	17.21(1)	17.05(0.8)	16.98(0.7)	16.91(0.7)	16.89(0.6)	16.83(0.6)	16.25(0)
23	センサー2	センサー7	センサー4	センサー5	センサー3	センサー1	センサー6
	16.39(0.5)	16.12(0.2)	16.11(0.2)	16.11(0.2)	16.04(0.2)	16.02(0.1)	15.88(0)