

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

ZEB建築物における熱源システムの最適制御に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 亮介 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2159

修士学位論文

ZEB 建物における熱源システムの
最適制御に関する研究

2020 年度

(2021 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海洋資源環境学専攻

中村 亮介

目次

第1章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 温暖化の現状.....	1
1.1.2 国内のエネルギー動向.....	4
1.1.3 本邦における建物の省エネルギー政策.....	5
1.2 ZEB 建築物.....	5
1.2.1 日本における ZEB 化の動向.....	5
1.2.2 ZEB 化の手法.....	7
1.2.3 ZEB 化の現状.....	8
1.3 本研究の目的.....	9
第2章 実測の概要.....	10
2.1 実測対象建物.....	10
2.2 実測対象機器.....	12
第3章 ZEB 建物におけるエネルギー消費実態.....	25
3.1 エネルギー消費の現状.....	25
3.1.1 代表日消費特性.....	26
3.1.2 時間別消費特性.....	28
3.2 室内環境の状況.....	30
3.2.1 データ.....	31
3.2.2 月データ.....	34
3.2.3 週データ.....	46
3.2.4 日データ.....	58
3.3 全熱交換器の評価.....	70
3.4 空調システムの最適運転効率の検討.....	74
3.5 ビルマルチ空調機のモデル化.....	79
第4章 各構成要素での削減ポテンシャル.....	81
4.1 換気システム.....	81
4.2 空調システム.....	83
4.3 今後の ZEB 達成のための構成機器ガイドラインの検討.....	85
第5章 結言.....	87
5.1 結論.....	87
5.2 今後の課題.....	87
謝辞.....	88
参考文献.....	89

第1章 緒論

1.1 研究背景

1.1.1 温暖化の現状

近年、地球規模の温暖化は著しく、ゲリラ豪雨や異常な台風の発生などの異常気象など、様々な熱環境問題が顕在化している。図 1.1-1 に、1891 年から 2020 年間の緯度・経度ともに 5 度で区切った領域における年平均気温の長期変化傾向を示す。同図より地球規模で、特に北半球での気温上昇が著しいことが明白である。また、図 1.1-2 に、同様に 1979 年から 2020 年間の年平均気温の変化傾向を示す。両図の比較では、近年（1979 年～2020 年）の変化傾向の地域が拡大し、世界的な気温上昇が認められる。この要因は、化石燃料の燃焼など、人間活動による温室効果ガスの多量排出の影響と考えられている。

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change; 気候変動に関する政府間パネル) の第 4 次評価報告書[1]では、温室効果ガス別の地球温暖化寄与は二酸化炭素が 76.7%を占めているとされ、また同第 5 次評価報告書[2]では、温室効果ガス排出削減に関して、現状を上回る努力がなければ、2100 年の気温は産業革命以前から 3.7～4.8℃上昇すると予想されている。

図 1.1-3 に、世界の二酸化炭素排出量とその内訳を示す。ここで、直接排出量は、発電に伴う二酸化炭素排出量をエネルギー転換部門からの排出と計算したものであり、間接排出量は、電気事業者の発電に伴う排出量を、電気消費量に応じて最終需要部門に配分した後の値である。同図から世界の部門別の 2010 年の二酸化炭素排出量は約 490 億トン(49Gt-CO₂ 換算)であり、建築部門では 14%を占めている。発電・熱生産を間接排出で換算した場合はエネルギー需要部門(エネルギーを供給する一次エネルギー供給、エネルギー転換部門)に分配され、建築部門は 18.4%に増加し、間接排出量では建築部門が最大である。

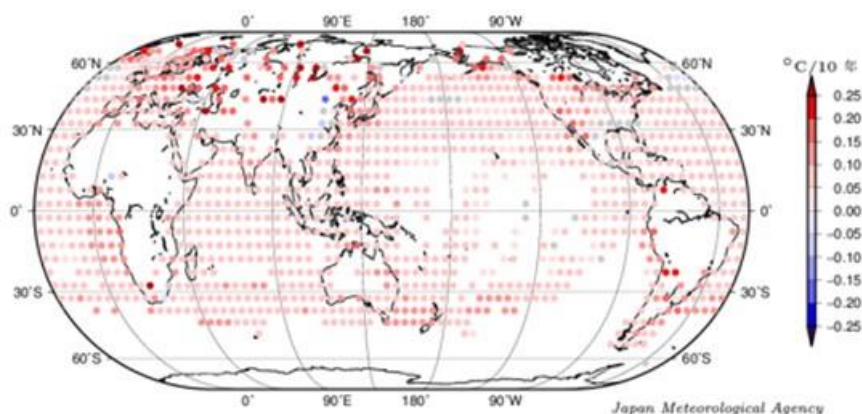


図 1.1-1 年平均気温の変化（1891 年～2020 年） [3]

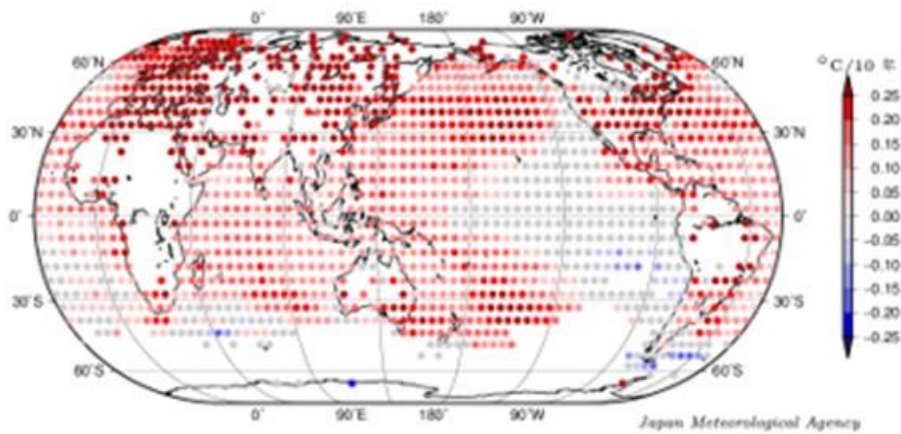


図 1.1-2 観測された 1979 年から 2020 年の年平均気温の変化 [3]

■ 世界の部門別GHG排出量（2010年）

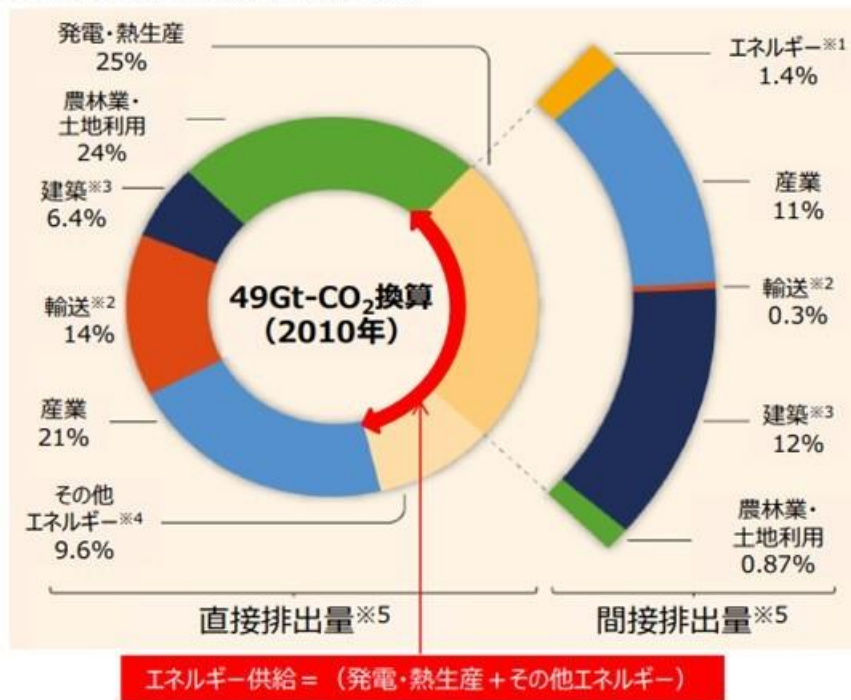


図 1.1-3 2010 年の世界の温室効果ガス排出量とその内訳 [4]

図 1.4 に、全世界の建築部門のエネルギー最終消費先割合を示す。同図から一般住居および事務所などを含む業務用建物において暖房用途のエネルギー最終消費割合が最も大きい。冷房用途および暖房用途を空調機用途と捉えたと、その割合は一般住居で 34%、業務用建物で 40%であり、空調機起原の温室効果ガスの割合が最も高い。

■ 家庭における最終エネルギー消費（2010年値）

■ オフィスでの最終エネルギー消費（2010年値）

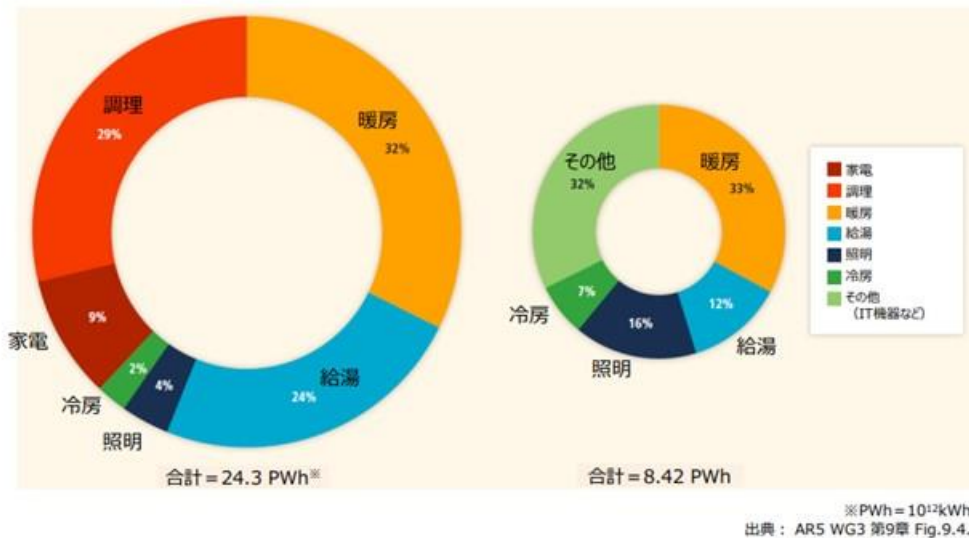


図 1.1-4 建物エネルギー最終消費先割合 [4]

また、2015年、パリで開催されたCOP(Conference of Parties)21において、京都議定書に代わる2020年以降の温室効果ガス削減等のための新たな国際枠組みであるパリ協定が採択された。この協定には、世界共通の長期目標として、産業革命前からの地球の気温上昇を2℃と低く保つことが盛り込まれ、各国がそれぞれ国ごとに温室効果ガス排出削減目標を設定している。パリ協定は、国際的な温室効果ガス削減の機運が高まりから、歴史上初の、すべての国が温室効果ガスの削減に取り組むことを約束した枠組みである。表 1.1 に、各国の温室効果ガス排出削減目標を示す。

表 1.1-1 各国の温室効果ガス削減目標 [5]

国名	削減目標	比較年
中国	2030年までに60～65%削減	2005年比
EU	2030年までに40%削減	1990年比
インド	2030年までに33～35%削減	2005年比
日本	2030年までに26%削減	2013年比
ロシア	2030年までに70～75%削減	1990年比
アメリカ	2025年までに26～28%削減	2005年比

一方、前出の IPCC では、図 1.5 に示すような部門別の温室効果ガス排出量の経済的緩和ポテンシャルについても言及されている。同図から、7つの部門において単位トン当たりの二酸化炭素排出を削減することにかかるコストが試算されており、建物部門における緩和ポテンシャルが最大である。

ボトムアップ研究から推計される2030年時点の部門別の経済的緩和ポテンシャル

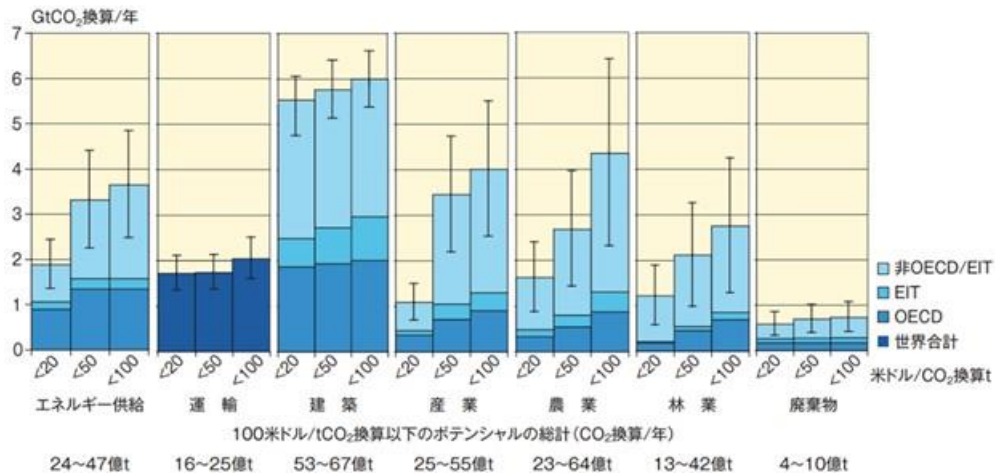


図 1.1-5 2030年時点の部門別の経済的緩和ポテンシャル [6]

1.1.2 国内のエネルギー動向

国内のエネルギー動向は、高度経済成長期以降、エネルギー消費量が増加の一途にある。図 1.6 に、国内の部門別の二酸化炭素排出量の推移と実質 GDP の推移を示し、また、図 1.7 に、部門別の二酸化炭素排出量の増減と二酸化炭素排出削減目標を示す。なお、ここでの二酸化炭素排出量削減目標は、2018年7月に閣議決定されたエネルギー基本計画によるものである。1990年度以降、実質 GDP が 27%増加した経済成長に対して、産業部門からの二酸化炭素排出は 17%減少したにも関わらず、業務部門(業務用建物、商業施設などの建物)からの二酸化炭素排出量は 66%増と大幅に増加している。以上のことから業務部門は他部門に比べ、二酸化炭素排出量の増加が顕著であり、省エネルギーの推進、再生可能エネルギーの活用による二酸化炭素排出削減が喫緊の課題となっている。

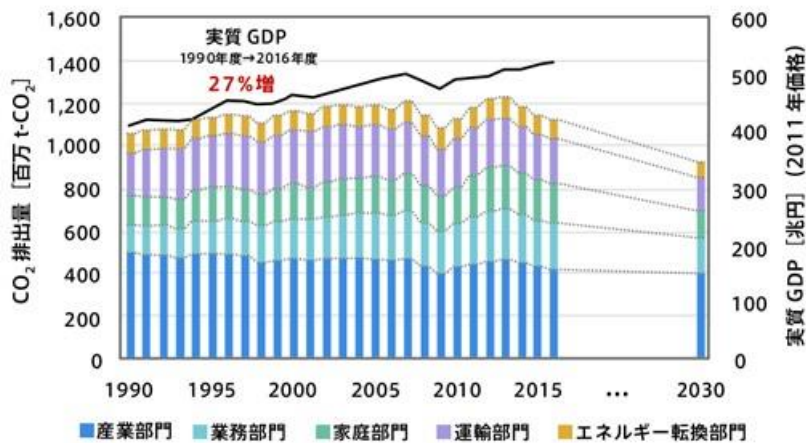


図 1.1-6 部門別二酸化炭素排出量推移と実質 GDP の推移 [6]

部門	CO ₂ 排出量	CO ₂ 削減目標
全体	1990 年度→2016 年度 ▲ 6% 増	2016 年度→2030 年度 ▼ 18% 減
エネルギー 転換	1990 年度→2016 年度 ▲ 4% 減	2016 年度→2030 年度 ▼ 21% 減
運輸	1990 年度→2016 年度 ▲ 4% 増	2016 年度→2030 年度 ▼ 24% 減
家庭	1990 年度→2016 年度 ▲ 45% 増	2016 年度→2030 年度 ▼ 35% 減
業務	1990 年度→2016 年度 ▲ 66% 増	2016 年度→2030 年度 ▼ 22% 減
産業	1990 年度→2016 年度 ▼ 17% 減	2016 年度→2030 年度 ▼ 4% 減

図 1.1-7 部門別二酸化炭素排出量の増減と二酸化炭素排出削減目標 [7]

1.1.3 本邦における建物の省エネルギー政策

前述のように、業務部門の二酸化炭素排出量は他部門に比べて増加が顕著であり、その削減をする優先度は高い。さらに、東日本大震災における電力供給のひっ迫や北海道胆振東部地震における長期停電、国際情勢の変化によるエネルギー価格の不安定化を受けて、エネルギー・セキュリティの観点から、建物におけるエネルギーの自立の必要性が求められている。

このような背景から、2016 年 5 月に閣議決定された地球温暖化対策計画では、業務部門において、二酸化炭素排出量を 2030 年度に 2013 年度比 40%削減する目標が設定されており、「2020 年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030 年までに新築建築物の平均で ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)を実現することを目指す」と掲げられた。また、2015 年にとりまとめられた「長期エネルギー供給見通し」においても、2030 年の目標として定められている省エネルギー量を達成するためには、ZEB 実現に向けた取組等により高度な省エネルギー性能を有する建築物の普及を推進することが前提となっている。このように、エネルギー基本計画やパリ協定などの目標の確実な達成には、ZEB の実現および普及が必須である。

1.2 ZEB 建築物

1.2.1 日本における ZEB 化の動向

空気調和・衛生工学会 [8]による ZEB の定義は、「室内及び室外の環境品質を低下させることなく、負荷抑制、自然エネルギー利用、設備システムの高効率化等により、大幅な省エネルギーを実現したうえで、再生可能エネルギーを導入し、その結果、運用時におけるエネルギー（あるいはそれに係数を乗じた指標）の需要と供給の年間積算収支（消費と生成、又は外部との収支）が概ねゼロもしくはプラス（供給量>需要量）となる建築物」である。

また、ZEB の実現、普及に向けて 4 段階の ZEB を定性的および定量的に定義しており、その区分を表 1.2 に示す。

表 1.2-1 ZEB 段階別の定性的な定義と定量的な定義 [9]

	定性的な定義	定量的な定義（判断基準）
『ZEB』	年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物	以下の①～②のすべてに適合した建築物 ①基準一次エネルギー消費量から50%以上の削減（再生可能エネルギー*を除く） ②基準一次エネルギー消費量から100%以上の削減（再生可能エネルギー*を含む）
Nearly ZEB	ZEBに限りなく近い建築物として、ZEB Readyの要件を満たしつつ、再生可能エネルギーにより年間の一次エネルギー消費量をゼロに近付けた建築物	以下の①～②のすべてに適合した建築物 ①基準一次エネルギー消費量から50%以上の削減（再生可能エネルギー*を除く） ②基準一次エネルギー消費量から75%以上100%未満の削減（再生可能エネルギー*を含む）
ZEB Ready	ZEBを見据えた先進建築物として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備えた建築物	再生可能エネルギー*を除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減に適合した建築物
ZEB Oriented	ZEB Readyを見据えた建築物として、外皮の高性能化及び高効率な省エネルギー設備に加え、更なる省エネルギーの実現に向けた措置を講じた建築物	以下の①及び②の定量的要件を満たす建築物 ①該当する用途毎に、再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から規定する一次エネルギー消費量を削減すること（※1） A) 事務所等、学校等、工場等は40%以上の一次エネルギー消費量削減 B) ホテル等、病院等、百貨店等、飲食店等、集会所等は30%以上の一次エネルギー消費量削減 ②「更なる省エネルギーの実現に向けた措置」として、未評価技術（WEBPROにおいて現時点で評価されていない技術）を導入すること（※2）

上表における一次エネルギー消費量は、建物における建築設備（空気調和設備、機械換気設備、照明設備、給湯設備、昇降機）のエネルギーを熱量換算した合計値である。また、基準一次エネルギー消費量は平成 25 年に国土交通省により定められた省エネルギー基準に準拠した建築設備（空気調和設備、機械換気設備、照明設備、給湯設備、昇降機）の仕様からそれぞれ算出された一次エネルギー消費量の合計である。ZEB 評価の際には、生成エネルギーと消費エネルギーのバランスを評価するが、消費エネルギーのうちコンセントの消費電力は、建築物の品質と関係せず、設計者はコントロールできないことから、対象消費用途から除外される。図 に、これらのイメージを示す。

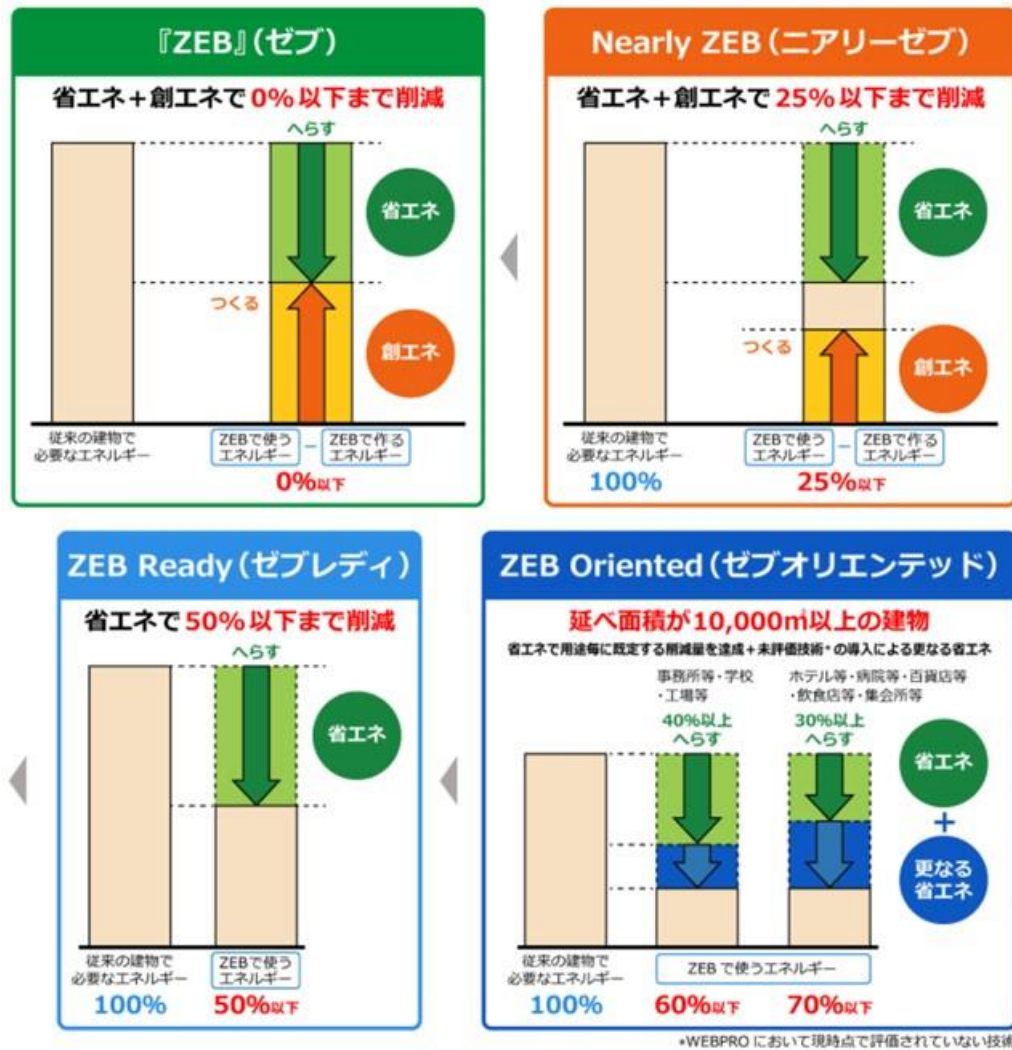


図 1.2-1 ZEB の定義イメージ [9]

1.2.2 ZEB 化の手法

建物の ZEB 化には以下の手法が用いられる。

1) パッシブ手法

周辺環境や室内環境を適正に保ち、建物の負荷を抑制する建築計画的な手法。断熱、日光遮蔽、自然通風利用、昼光利用などを積極的に行えるように検討し、建物の負荷を減らし、空調機などによるエネルギー消費を抑制させる。

2) アクティブ手法

潜熱分離空調機、デシカント空調機、放射冷暖房空調、タスク・アンビエント照明、タスク・アンビエント空調高効率モジュール、地中熱ヒートポンプなどの導入による設備的手法。高効率機器、高効率システム、これらの協調や空調設備容量の最適化にも考慮していくことが重要である。また、ZEB を長く適切に運用するにはエネルギーマネジメントを行うことが必要であり、これもアクティブ手法に含まれる。エネルギーマネジメントはエネルギーの可視化や機器制御や創エネルギーに関わる機器の制御を行うものであり、機器を使う使用者にエネルギー

消費実態を把握させることで省エネ行動を促進させることができる。

3) 再生可能エネルギー

ZEB 化において、再生可能エネルギーは再生可能エネルギー源を指す。再生可能エネルギー源には太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、バイオマス等がある。

1.2.3 ZEB 化の現状

2015 年に ZEB の現状と課題、それに対応する手段を検討する ZEB ロードマップ検討委員会が設置され、ZEB 普及の目標達成に向けたロードマップが公開された。図に ZEB ロードマップを示す。また、一般社団法人環境共創イニシアチブが ZEB 実証事業を行っており、設計者向けのガイドラインやオーナー向けのパンフレットの作成、公表を進めてきた。これらの活動により ZEB の設計方法が広く浸透し、ZEB の多様な便益に対する知識が高まることが期待されている。しかしその一方で、ZEB 化への障壁も存在している。建物規模が大きいことで空調機等の熱搬送動力のエネルギー消費量の増加や必要設備数が増え、設備全体での最適化の技術的なハードルが高くなること等が課題となっている。また、建物規模が大きくなるに従い、単一用途でなく複数用途として使用されることが多くなり、複数用途建築の場合、その用途のすべてもしくは一部がテナントとなることが多いため、多様なテナントのニーズを反映させようとして ZEB 化を行うことが求められている。

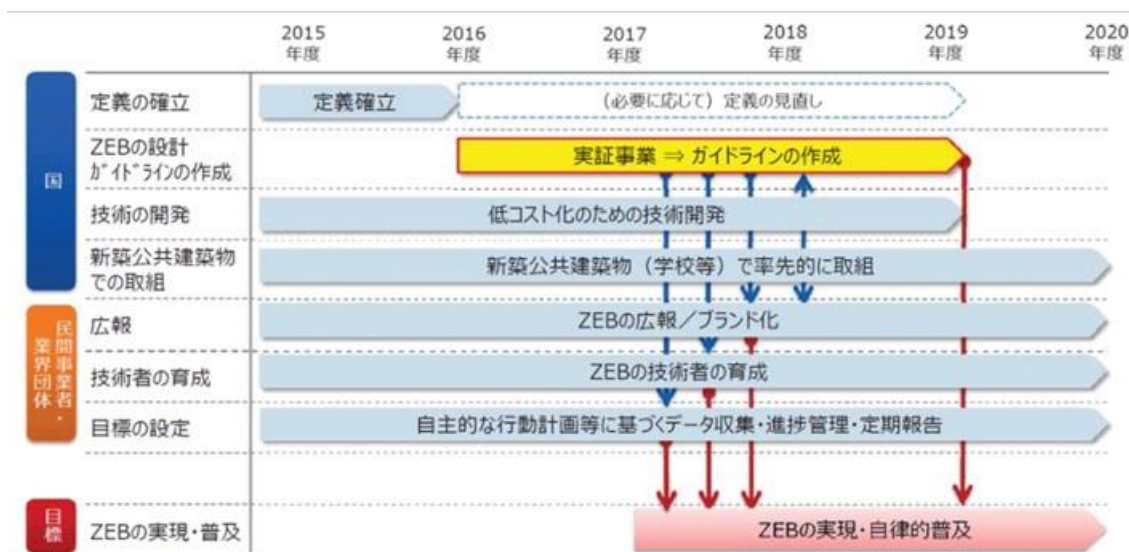


図 1.2-1 ZEB ロードマップ [10]

1.3 本研究の目的

2016年に閣議決定された地球温暖化対策計画では、業務部門において、二酸化炭素排出量を2030年度に2013年度比40%削減する目標が設定されており、「2020年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング)を実現することを目指す」とされている。

本研究は、建築物起源の温室効果ガスを削減するために、ZEB建物のエネルギー消費特性の詳細解析から、今後の建築物がZEB基準を達成するためのガイドラインを提言することを目的とする。また、昨今の新型コロナウイルス感染拡大防止に伴い、一般に大幅な換気量の確保が求められているが、ZEB達成の観点から、十分に安全な換気量を確保し、かつ省エネルギー性を担保する換気量などについても検討を行う。

第2章 実測の概要

2.1 実測対象建物

本研究の対象建物は、香川県高松市に位置する2019年5月に竣工の一般事務所建物である。図2.1-1に、その建物外観を示す。地上三階建て、延床面積は1181.75㎡、被空調面積は530.07㎡である。開館時間(営業日)は月曜日から金曜日で、職員の在館時間は、概ね7時から20時、最大在館人数は20名程度である。また、主な執務場所は、2階の事務室1・2の2部屋であり、完全ZEB(Pure ZEB)を実現している。



図 2.1-1 建物外観

対象建物室内平面図を図2.1-2～2.1-4に示す。

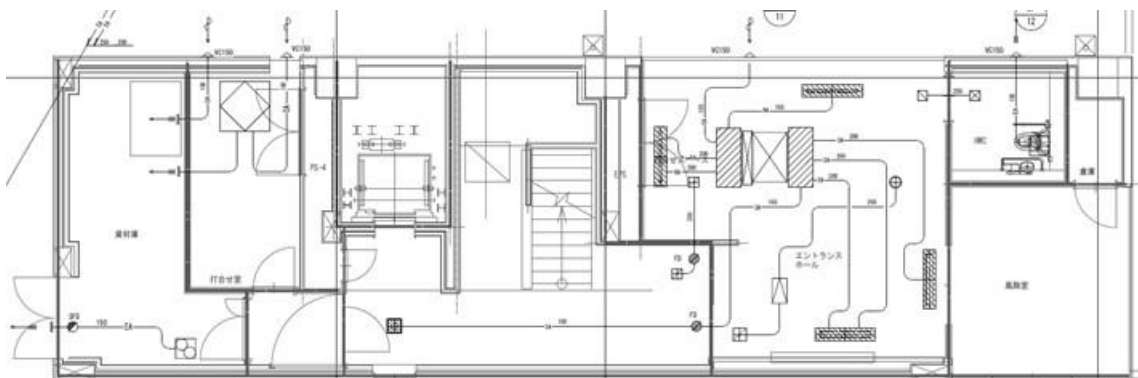


図 2.1-2 1階平面図

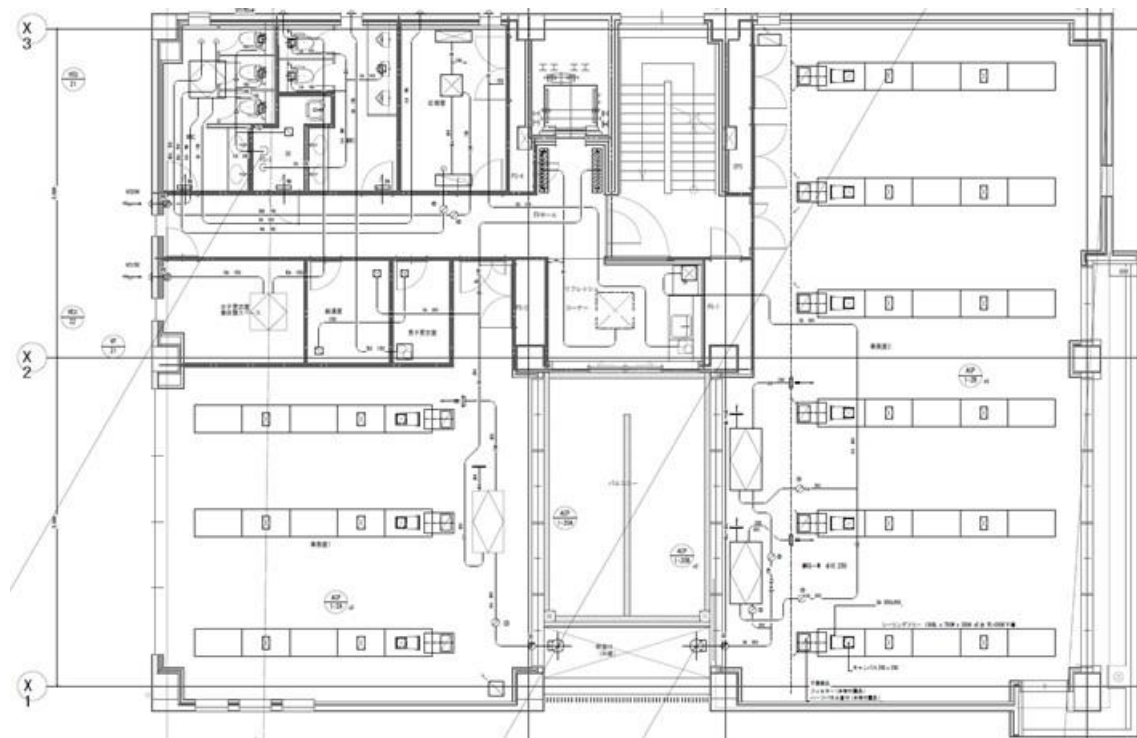


图 2.1-3 2 階平面図

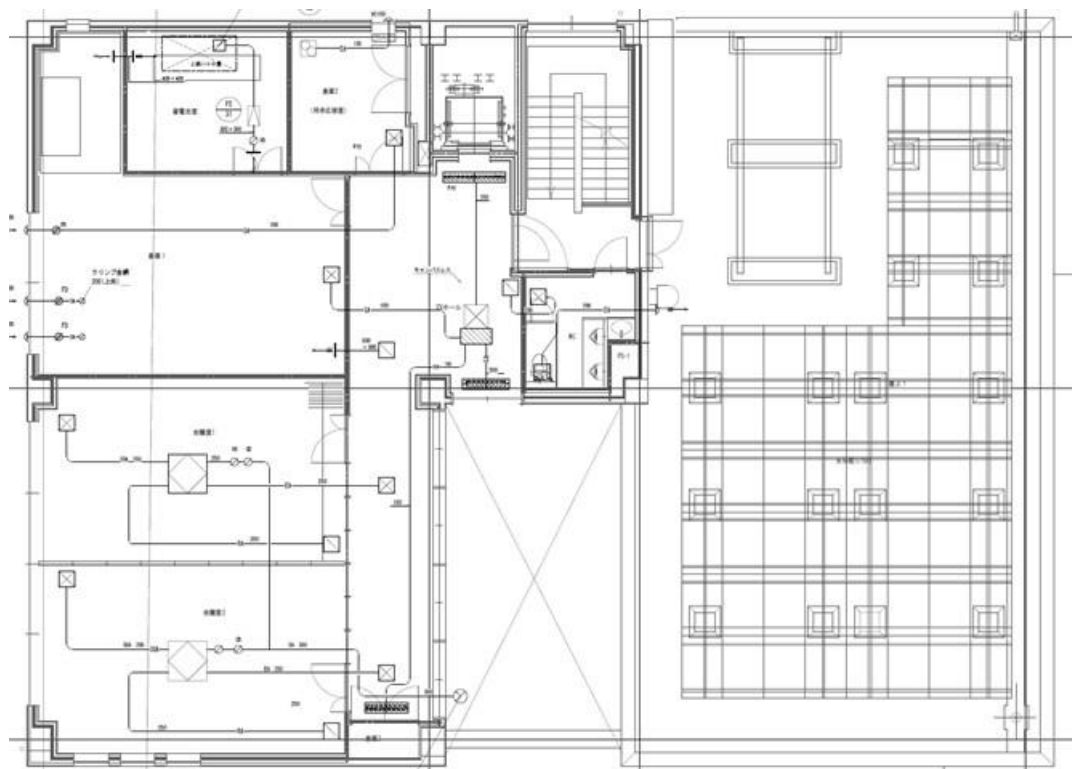


图 2.1-4 3 階平面図

対象建物における ZEB 化達成の手法は、以下の通りである。

(1) パッシブ手法

1) 外断熱工法

建物の外壁に断熱層を設ける工法で、建物を外気から断熱し、建物の蓄熱の流出を防ぐものである。

2) 複合アルミサッシ(アルミ・樹脂)

アルミと樹脂の複合サッシを用いることで断熱性能を高める。アルミと複合することで強度の向上も図る。

3) 開口・光庭の配置

東西の開口部を減らすことで熱負荷を抑制させる。また、光庭を設置することで自然通風、自然採光を向上させる。

4) 庇

採光と熱負荷を抑制させる効果がある。

(2) アクティブ手法

1) タスク・アンビエント空調、照明

タスク域、アンビエント域に分けて空調、照明することで空調、照明を効率よく運転させ、エネルギー消費を削減する。

2) 地中熱有効利用

基礎杭を利用した採熱杭を設置し、地中熱ヒートポンプにより躯体蓄熱設備に利用する。また、地中にアースチューブを設置し、外気を取り入れ全熱交換器の熱交換に利用する。これにより建物の空調負荷を低減させる。

3) クラウド型自動制御システム

建物の空調機などの機器を IoT によりクラウド化し機器の監視、制御を行うことで建物内での機器の最適制御をし、省エネルギー化を図る。

(3) 再生可能エネルギー

対象建物には屋上に太陽光パネルを設置し、太陽光発電を行っている。

2.2 実測対象機器

対象建物の消費電力および快適性把握のための室内環境の実測は BEMS (Building and Energy Management System: ビル・エネルギー管理システム) によって実測した。BEMS とは室内環境とエネルギー性能の最適化を図るためのビル管理システムのことである。BEMS は電力、水道、ガス使用量の可視化、空調、照明やエネルギー設備の制御を可能とする。室内環境は使用頻度の高い 2 階事務室 1、2 の 2 部屋を対象とする。表 2.2-1~2.2-3 に対象建物の BEMS でのデータ取得項目一覧を示す。また、全熱交換器の詳細な運転状況を把握するため、

BEMS とは別に実測を行った。表 2.2-4 にその実測機器の諸元、図 2.2-1 にその配置図を示す。

表 2.2-1 実測機器諸元

型式	TR-72wb
測定対象	温度、湿度
測定範囲	0～55℃、10～95%RH
記録データ	8000×2ch
記録間隔	15通り 1秒～60分
記録モード	エンドレス/ワンタイム
通信	無線LAN、USB通信、Bluetooth4.2

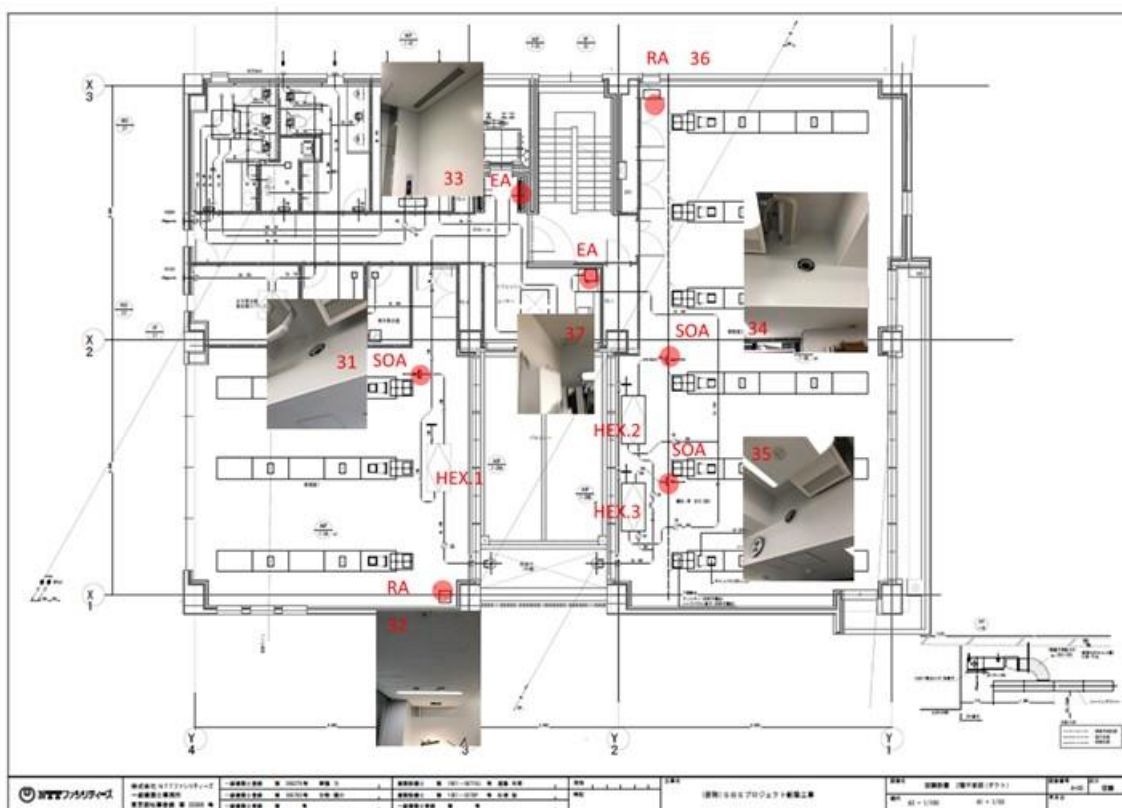


図 2.2-1 全熱交換器および実測機器の配置図

表 2.2-2 BEMS データ取得項目

時刻	幹線GL2 事務室2アンビエント照明
受電電力量 (買電)	幹線GL2 事務室コンセント
逆潮流電力量 (売電)	幹線GL2 重要コンセント
エレベータ消費電力量	幹線GL2 E V充電器電源
幹線L1 照明	幹線L2 照明
幹線L1 アンビエント照明 (全体)	幹線L2 共用コンセント
幹線L1 事務室1アンビエント照明	幹線L2 E L V制御盤
幹線L1 事務室2アンビエント照明 (108、500VA)	幹線L2 換気扇
幹線L1 事務室2アンビエント照明 (109、200VA)	幹線L2 全熱交換器 (全体)
幹線L1 共用コンセント	幹線L2 全熱交換器 (評価対象)
幹線L1 給湯器電源	幹線GL3 照明
幹線L1 タスク照明 (全体)	幹線GL3 会議室コンセント
幹線L1 事務室1タスク照明	幹線GL3 重要コンセント
幹線L1 事務室2タスク照明 (332、800VA)	幹線GL3 換気扇 (全体)
幹線L1 事務室2タスク照明 (333、100VA)	幹線GL3 換気扇
幹線L1 換気扇	幹線GL3 空調電源
幹線L1 全熱交換器 (全体)	幹線GL3 換気扇 (蓄電池室換気扇)
幹線L1 全熱交換器 (評価対象)	保安負荷 消費電力量
幹線L1 地中熱HPチラー	パッケージ室外機 消費電力量
幹線GL1 照明	冷温水ポンプ CHP-1 消費電力量
幹線GL1 事務用コンセント	冷温水ポンプ CHP-2 消費電力量
幹線GL1 換気扇	太陽電池発電電力量
幹線GL1 空調電源 (全体)	蓄電池充電電力量
幹線GL1 空調電源 (評価対象)	蓄電池放電電力量
幹線GL2 照明	蓄電池システム消費電力量
幹線GL2 アンビエント照明 (全体)	蓄電池システム逆潮流電力量
幹線GL2 事務室1アンビエント照明	

表 2.2-3 BEMS データ取得項目

日時	ホールPAC 室温モニタ
エントランスホール PAC 設定温度指令	クール/ウォームチューブ 入口温度
打合せ室 PAC 風量指令	クール/ウォームチューブ 入口温度
打合せ室 PAC 設定温度指令	事務室1 蓄熱床 外面温度
事務室1(東) PAC 風量指令	クール/ウォームチューブ 事務室1 出口温度
事務室1(東) PAC 設定温度指令	クール/ウォームチューブ 事務室1 出口温度
事務室1(中) PAC 風量指令	クール/ウォームチューブ 事務室2 出口温度
事務室1(中) PAC 設定温度指令	クール/ウォームチューブ 事務室2 出口温度
事務室1(西) PAC 風量指令	地中温度
事務室1(西) PAC 設定温度指令	蓄熱 往温度
事務室2(東-1) PAC 風量指令	蓄熱 還温度
事務室2(東-1) PAC 設定温度指令	採熱 往温度
事務室2(東-2) PAC 風量指令	採熱 還温度
事務室2(東-2) PAC 設定温度指令	EFM-11 採熱循環流量
事務室2(東-3) PAC 風量指令	EFM-12 蓄熱循環流量
事務室2(東-3) PAC 設定温度指令	UFM-21 事務室1 床蓄熱 冷温水流量
事務室2(西-1) PAC 風量指令	UFM-22 事務室1 西側壁 冷温水流量
事務室2(西-1) PAC 設定温度指令	UFM-23 事務室1 北側壁 冷温水流量
事務室2(西-2) PAC 風量指令	事務室1 床蓄熱 冷温水還温度
事務室2(西-2) PAC 設定温度指令	事務室1 西側壁 冷温水還温度
事務室2(西-3) PAC 風量指令	事務室1 北側壁 冷温水還温度
事務室2(西-3) PAC 設定温度指令	事務室1 蓄熱床 表面温度
女子更衣室 PAC 風量指令	事務室1 蓄熱床 スラブ温度
女子更衣室 PAC 温度設定指令	UFM-24 事務室2 床蓄熱 冷温水流量
給湯室 PAC 風量指令	UFM-25 事務室2 西側壁 冷温水流量
給湯室 PAC 設定温度指令	UFM-26 事務室2 東側壁 冷温水流量
リフレッシュコーナー PAC 風量指令	事務室2 床蓄熱 冷温水還温度
リフレッシュコーナー PAC 設定温度指令	事務室2 西側壁 冷温水還温度
応接室 PAC 風量指令	事務室2 東側壁 冷温水還温度
応接室 PAC 設定温度指令	事務室2 蓄熱床 スラブ温度
会議室1 PAC 風量指令	事務室2 蓄熱床 表面温度
会議室1 PAC 設定温度指令	冷温水ポンプ(一次側)用インバータ 周波数
会議室2 PAC 風量指令	冷温水ポンプ(二次側)用インバータ 周波数
会議室2 PAC 設定温度指令	外気温度
ホール PAC 風量設定	日射量
ホール PAC 設定温度指令	TE-204 事務室2 蓄熱床 スラブ外表面温度
エントランスホールPAC 室温モニタ	1Fエントランス 温度 (SII)
打合せ室PAC 室温モニタ	1Fエントランス 湿度 (SII)
事務室1(東) PAC 室温モニタ	1Fエントランス 照度 (SII)
事務室1(中) PAC 室温モニタ	1Fエントランス CO2濃度 (SII)
事務室1(西) PAC 室温モニタ	1F駐車場-1 温度 (SII)
事務室2(東-1) PAC 室温モニタ	1F駐車場-1 湿度
事務室2(東-2) PAC 室温モニタ	1F駐車場-1 照度 (SII)
事務室2(東-3) PAC 室温モニタ	1F駐車場-1 CO2濃度 (SII)
事務室2(西-1) PAC 室温モニタ	1F駐車場-2 温度 (SII)
事務室2(西-2) PAC 室温モニタ	1F駐車場-2 湿度 (SII)
事務室2(西-3) PAC 室温モニタ	1F駐車場-2 照度 (SII)
女子更衣室PAC 室温モニタ	1F駐車場-2 CO2濃度 (SII)
給湯室PAC 室温モニタ	2F事務室1-1 温度 (SII)
リフレッシュコーナーPAC 室温モニタ	2F事務室1-1 湿度 (SII)
応接室PAC 室温モニタ	2F事務室1-1 照度 (SII)
会議室1PAC 室温モニタ	2F事務室1-1 CO2濃度 (SII)
会議室2PAC 室温モニタ	2F事務室2-1 温度 (SII)

表 2.2-4 BEMS データ取得項目

2F事務室2-1 温度 (SII)	幹線L2 全熱交換器 (評価対象)
2F事務室2-1 照度 (SII)	幹線GL3 照明
2F事務室2-1 CO2濃度 (SII)	幹線GL3 会議室コンセント
3F会議室1 温度 (SII)	幹線GL3 重要コンセント
3F会議室1 湿度 (SII)	幹線GL3 換気扇 (全体)
3F会議室1 照度 (SII)	幹線GL3 換気扇
3F会議室1 CO2濃度 (SII)	幹線GL3 空調電源
3F会議室2 温度 (SII)	幹線GL3 換気扇 (蓄電池室換気扇)
3F会議室2 湿度 (SII)	保安負荷 消費電力量
3F会議室2 照度 (SII)	バックージ室外機 消費電力量
3F会議室2 CO2濃度 (SII)	冷温水ポンプ CHP-1 消費電力量
受電 (買電) 電力	冷温水ポンプ CHP-2 消費電力量
逆潮流 (売電) 電力	太陽電池発電電力量
蓄電システム消費電力	蓄電池充電電力量
蓄電システム逆潮流電力	蓄電池放電電力量
MD-1 (事務室①ET側) 開	蓄電池システム消費電力量
MD-3 (事務室①外気側) 開	蓄電池システム逆潮流電力
受電電力量 (買電)	太陽電池出力電圧
逆潮流電力量 (売電)	太陽電池出力電流
エレベータ消費電力量	太陽電池出力電力
幹線L1 照明	蓄電池充電電流
幹線L1 アンビエント照明 (全体)	蓄電池充電電力
幹線L1 事務室1アンビエント照明	蓄電池充電率
幹線L1 事務室2アンビエント照明 (108、500VA)	蓄電池放電電流
幹線L1 事務室2アンビエント照明 (109、200VA)	蓄電池放電電力
幹線L1 共用コンセント	エントランスホールPAC 運転状態
幹線L1 給湯器電源	打合せ室PAC 運転状態
幹線L1 タスク照明 (全体)	事務室1 (東) PAC 運転状態
幹線L1 事務室1タスク照明	事務室1 (中) PAC 運転状態
幹線L1 事務室2タスク照明 (332、800VA)	事務室1 (西) PAC 運転状態
幹線L1 事務室2タスク照明 (333、100VA)	事務室2 (東-1) PAC 運転状態
幹線L1 換気扇	事務室2 (東-2) PAC 運転状態
幹線L1 全熱交換器 (全体)	事務室2 (東-3) PAC 運転状態
幹線L1 全熱交換器 (評価対象)	事務室2 (西-1) PAC 運転状態
幹線L1 地中熱HPチャージ	事務室2 (西-2) PAC 運転状態
幹線GL1 照明	事務室2 (西-3) PAC 運転状態
幹線GL1 事務用コンセント	女子更衣室PAC 運転状態
幹線GL1 換気扇	給湯室PAC 運転状態
幹線GL1 空調電源 (全体)	リフレッシュコーナーPAC 運転状態
幹線GL1 空調電源 (評価対象)	応接室PAC 運転状態
幹線GL2 照明	会議室1PAC 運転状態
幹線GL2 アンビエント照明 (全体)	会議室2PAC 運転状態
幹線GL2 事務室1アンビエント照明	ホールPAC 運転状態
幹線GL2 事務室2アンビエント照明	BLE子機1 ブースモード
幹線GL2 事務室コンセント	BLE子機2 ブースモード
幹線GL2 重要コンセント	BLE子機3 ブースモード
幹線GL2 E V充電器電源	BLE子機4 ブースモード
幹線L2 照明	BLE子機5 ブースモード
幹線L2 共用コンセント	BLE子機6 ブースモード
幹線L2 E L V制御盤	BLE子機7 ブースモード
幹線L2 換気扇	BLE子機8 ブースモード
幹線L2 全熱交換器 (全体)	BLE子機9 ブースモード

対象建物の熱源機器とその諸元および空調機の配置図を示す。

1) ビルマルチ空調機

表 2.2-5 に、実測対象空調システムのダイキン社製の空調機の室外機諸元を示す。対象室外機の外観を図に示す。系統室内機は 20 台設置されており、室内・室外機の出力比は冷房時 1.20:1 (67.4kW:56kW)、暖房時 1.21:1 (76.1kW:63kW)である。設備容量は冷房時 105.65W/m²、暖房時 118.85W/m²である。

表 2.2-5 ビルマルチ空調機の諸元 (室外機)

型番		RXUP280F	
定格空調能力	冷房	56.0	[kW]
	暖房	63.0	[kW]
消費電力	冷房	15.70	[kW]
	暖房	16.50	[kW]
圧縮機	形式	全密閉スクロール式	[-]
	電動機出力×台数	(5.42×1)×2	[-]
	始動方式	インバーター方式	[-]
冷媒		R410A	[-]
送風機	定格風量	220+220	[m ³ /min]
	電動機出力×台数	(0.24×2)×2	[kW]
APF		6.3	[-]



図 2.2-2 室外機外観

表 2.2-6 ビルマルチ空調機の諸元（室内機）

型番		FXYMP71GA	FXYFP28MK	FXYSP22D	FXYCP22MD
形式		天井埋込ダクト形	天井埋込カセット形 (ラウンドフロータイプ)	天井ビルトイン形	天井埋込カセット形 (ダブルフロー)
設置台数		1	1	9	2
電源		単相200V(60Hz)	単相200V(60Hz)	単相200V(60Hz)	単相200V(60Hz)
性能	冷房能力[kW]	7.1	2.8	2.2	2.2
	暖房能力[kW]	8	3.2	2.5	2.5
消費電力	冷房[W]	137/136	33	52	31
	暖房[W]	125/125	27	47	28
送風機	定格風量(急、強、弱)[m ³ /min]	19.5-17.5-16	12.5-11.5-10	9.0-7.5-6.5	10.5-9-7.5
	電動機定格出力(極数)[W]	350×1	53×1	78×1	46×1

表 2.2-7 対象室内機諸元

型番		FXYFP45MK	FXYSP28D	FXYFP56MK	FXYSP36D
形式		天井埋込カセット形 (ラウンドフロータイプ)	天井ビルトイン形	天井埋込カセット形 (ラウンドフロータイプ)	天井ビルトイン形
設置台数		1	1	4	1
電源		単相200V(60Hz)	単相200V(60Hz)	単相200V(60Hz)	単相200V(60Hz)
性能	冷房能力[kW]	4.5	2.8	5.6	3.6
	暖房能力[kW]	5.0	3.2	6.3	4.0
消費電力	冷房[W]	47	52	52	61
	暖房[W]	34	47	38	56
送風機	定格風量(急、強、弱)[m ³ /min]	14.5-13-11	9.0-7.5-6.5	15.5-13.5-11	9.0-8.0-7.0
	電動機定格出力(極数)[W]	53×1	78×1	53×1	78×1

2) 全熱交換器

対象建物では4種8台の全熱交換器が設置されている。以下に各全熱交換器の諸元と配置を示す。

表 2.2-8 VKMP50HM の機諸元

仕様 (50/60Hz)

機種名		VKMP50HM					
電源		単相200V					
換気モード		全熱交換換気			普通換気		
ノッチ		特強	強	弱	特強	強	弱
外気負荷 処理能力	冷房時★1(kW)	4.83(2.03)〈2.8〉					
	暖房時★2(kW)	5.76(2.56)〈3.2〉					
電動機出力(kW)		0.280×2					
送風機	風量(m ³ /h)	500/500	500/500	400/390	500/500	500/500	400/390
	機外静圧(Pa)	225/225	170/140	125/85	225/225	170/140	125/85
フレッシュアップ運転	給気過剰	—	1.08:1/1.11:1	1.22:1/1.28:1	—	1.08:1/1.11:1	1.22:1/1.28:1
風量比(給気:排気)	排気過剰	—	1:1.08/1:1.11	1:1.22/1:1.28	—	1:1.08/1:1.11	1:1.22/1:1.28
加湿方式		流下式自然蒸発式加湿器					
加湿器	加湿量(kg/h)★3	2.9/2.9〈4.2/4.2〉			—		
	給水圧力(MPa)	0.02~0.49					
消費電力(W)		560/655	505/570	415/440	560/655	505/570	415/440
温度交換効率(%)★4		76/76	76/76	77/77.5	—		
エンタルピ 交換効率(%)★4	冷房時★1	68/68	68/68	71/71.5	—		
	暖房時★2	72/72	72/72	74/74.5	—		
運転音★5(dB)		37.5/37.5	36/33	33/29	38.5/37.5	36/33	33/29
製品質量(満水時)(kg)		102(105)					



図. 2. 2-3 VKMP50HM 天井埋込ダクト型全熱交換器 (商品名 : ベンティエール)

表 2. 2-9 VAC250GDS の諸元

■標準仕様(50/60Hz)

機種名	節電タイプ : VAC250GDS・VAC250GD スタンダードタイプ : VAC250GDES・VAC250GDE					
電源	単相100V					
換気モード	全熱交換換気			普通換気		
ノッチ	特強	強	弱	特強	強	弱
風量 (m ³ /h)	250/250	250/250	180/170	250/250	250/250	180/170
電流 (A)	1.12/1.14	1.01/1.02	0.72/0.71	1.12/1.14	1.01/1.02	0.72/0.71
消費電力 (W)	100/110	91/97	64/65	100/110	91/97	64/65
ファン出力 (kW)	0.040×1台					
機外静圧 (Pa)	50/70	20/15	0/0	50/70	20/15	0/0
温度交換効率 (%)	72/72	72/72	75/76	-		
エンタルピ 交換効率 (%)	冷房時	64/64	64/64	67/68.5	-	
	暖房時	67/67	67/67	69/70.5	-	
運転音 (dB)	34/34	32/32	28/28	35.5/35.5	33/32.5	27.5/27
エアフィルター	不織布フィルター(質量法82%以上)					
質量 (kg)	本体:22 インテリアパネル:2.2					



図 2. 2-4 VAC250GDS 天井埋込カセット形全熱交換器 (商品名 : ベンティエール)

表 2. 2-10 VAM15GAMS の諸元

■標準仕様(50/60Hz)

タイプ 総称機種名	節電タイプ		スタンダードタイプ	
	単相100V VAM15GAMS	単相200V VAM15GAM	単相100V VAM15GAMES	単相200V VAM15GAME
全熱交換器ユニット	VAM150GDMS	VAM150GDM	VAM150GDEMS	VAM150GDEM
加湿ユニット	BPM24B15S	BPM24B15	BPM24B15ES	BPM24B15E

電源		単相100V					
換気モード		全熱交換換気			普通換気		
ノッチ		特強	強	弱	特強	強	弱
風量 (m ³ /h)		150/150	150/150	120/90	150/150	150/150	120/90
フレッシュアップ運転	給気通割	—	1.10:1/1.05:1	1.23:1/1.70:1	—	1.10:1/1.05:1	1.23:1/1.70:1
	排気通割	—	1:1.10/1:1.05	1:1.23/1:1.70	—	1:1.10/1:1.05	1:1.23/1:1.70
電流 (A)	全熱交換器ユニット	2.16/2.17	1.32/1.97	1.19/1.20	2.16/2.17	1.32/1.97	1.19/1.20
	加湿ユニット	0.12/0.10			0.12/0.10		
消費電力 (W)	全熱交換器ユニット	165/186	116/174	102/102	165/186	116/174	102/102
	加湿ユニット	8.5/7.0			8.5/7.0		
ファン出力 (kW)		0.090×2台					
機外静圧 (Pa)		175/210	135/185	90/60	175/210	135/185	90/60
温度交換効率 (%)		84/84	84/84	86/87	—		
エンタルピー交換効率 (%)	冷房時	73/73	73/73	74/76	—		
	暖房時	80/80	80/80	83/84	—		
加湿	加湿方式	透湿膜式					
	加湿量 (kg/h)★	0.53/0.53 (1.01/1.01)		—	—		
	給水圧力 (MPa)	0.02~0.49			—		
運転音 (dB)	全熱交換器ユニット	30.5/30	29/27	22.5/22	31/30.5	29/27	22.5/22
	加湿ユニット	—			—		
エアフィルター		不織布(質量法82%以上)					
質量 (kg)		56(満水時58.6)					



図 2.2-5 VAM15GAMS 天井埋込ダクト形 (商品名: ベンティエール)

表 2.2-11 VAM80GAMS の諸元

■標準仕様(50/60Hz)

タイプ	節電タイプ		スタンダードタイプ	
総称機種名	単相100V VAM80GAMS	単相200V VAM80GAM	単相100V VAM80GAMES	単相200V VAM80GAME
全熱交換器ユニット	VAM800GDS	VAM800GD	VAM800GDES	VAM800GDE
加湿ユニット	BPM24B80S	BPM24B80	BPM24B80ES	BPM24B80E

電源		単相100V					
換気モード		全熱交換換気			普通換気		
ノッチ		特強	強	弱	特強	強	弱
風量 (m ³ /h)		800/800	800/800	680/640	800/800	800/800	680/640
フレッシュアップ運転	給気通割	—	1.11:1/1.17:1	1.18:1/1.25:1	—	1.11:1/1.17:1	1.18:1/1.25:1
	排気通割	—	1:1.11/1:1.17	1:1.18/1:1.25	—	1:1.11/1:1.17	1:1.18/1:1.25
電流 (A)	全熱交換器ユニット	6.40/7.70	5.30/6.40	4.30/4.20	6.40/7.70	5.30/6.40	4.30/4.20
	加湿ユニット	0.12/0.10			0.12/0.10		
消費電力 (W)	全熱交換器ユニット	580/720	515/622	410/405	580/720	515/622	410/405
	加湿ユニット	8.5/7.0			8.5/7.0		
ファン出力(kW)		0.280×2台					
機外静圧 (Pa)		190/190	120/65	85/40	190/190	120/65	85/40
温度交換効率 (%)		78/78	78/78	79/79.5	—		
エンタルピー交換効率 (%)	冷房時	71/71	71/71	73/73.5	—		
	暖房時	74.5/74.5	74.5/74.5	76.5/77.5	—		
加湿	加湿方式	透湿膜式					
	加湿量 (kg/h)★	2.01/2.01 (4.37/4.37)		—	—		
	給水圧力 (MPa)	0.02~0.49					
運転音 (dB)	全熱交換器ユニット	35/37	33/34	28/30	36/38	33/35	28.5/31
	加湿ユニット	—			—		
エアフィルター		不織布(質量法82%以上)					
質量 (kg)		100(満水時103.9)					



図 2.2-6 VAM80GAMS 天井埋込ダクト形 (加湿内蔵タイプ) (商品名 : ベンティエール)

室外機、室内機、全熱交換器の配置を下図に表す。また、記号一覧を表 2.2-8 に示す。

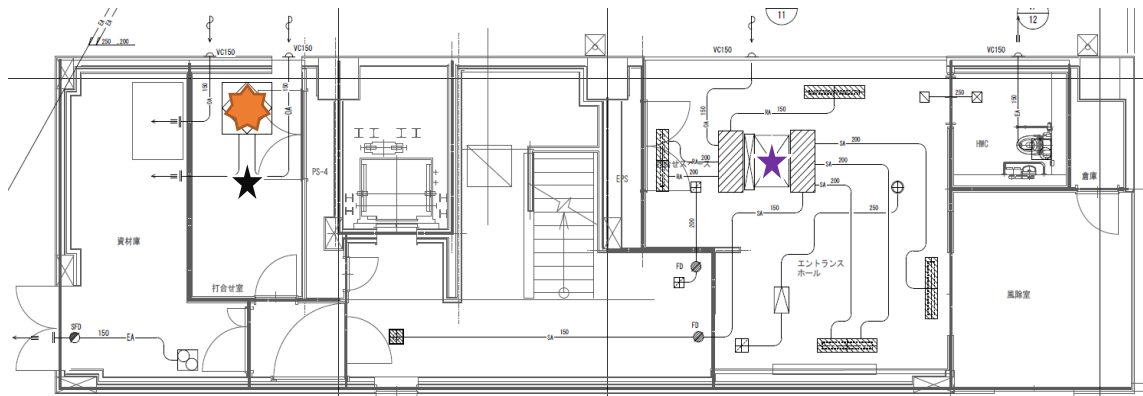


図 2.2-7 配置図 (1階)



図 2.2-8 配置図 (2階)



図 2.2-9 配置図 (3階)

表 2.2-12 対応記号

用途	形式	マーク
室外機	RXUP280F	★
室内機	FXYMP71CA	★
室内機	FXYFP28MK	★
室内機	FXYSP22D	★
室内機	FXYCP22MD	★
室内機	FXYFP45MK	★
室内機	FXYSP28D	★
室内機	FXYFP56MK	★
室内機	FXYSP36D	★
全熱交換器	VKMP50HM	★
全熱交換器	VAC250GDS	★
全熱交換器	VAM15GAMS	★
全熱交換器	VAM80GAMS	★

なお、VKMP50HMについては全熱交換器の形式であるが、同機には冷媒回路が設けられており、室内機としても機能する。

3) ZEB 達成に寄与する機器

対象建物では、ZBB 化の対策として、地中採熱設備、地中熱ヒートポンプ、冷温水ポンプ、躯体蓄熱設備、太陽光パネル(155 枚)が採用されており、以下にそれぞれの諸元を示す。

表 2.2-13 地中採熱設備諸元

仕様	地中採熱チューブ 20m×12本		
採熱量	10		[kW]
流量	冷房	30	[L/min]
	暖房	30	[L/min]

表 2.2-14 地中熱ヒートポンプ諸元

型式	GSHP-1002UR		
設置区分	屋内設置型		
定格空調能力	冷房	10.0	[kW]
	暖房	10.0	[kW]
消費電力	冷房	3.13	[kW]
	暖房	2.73	[kW]
圧縮機	形式	ロータリー式	
冷媒	R410A		
定格COP	冷房	3.2	
	暖房	3.7	

表 2.2-15 冷温水ポンプ諸元

型式	SLP2-25-6.4-e	
消費電力	0.4	[kW]
取扱流体	清水	
能力	30	[L/min]

表 2.2-16 躯体蓄熱設備諸元

放熱量	10	[kW]
流量(暖房)	30	[L/min]

表 2.2-17 太陽光パネルの諸元

仕様	単結晶系ハイブリッド型シリコン太陽電池	
質量	19	[kg]
最大出力	320.0	[W]
最大出力動作電圧	57.3	[V]
最大出力動作電流	5.59	[A]
開放電圧	69.4	[V]
短絡電流	5.98	[A]

第3章 ZEB建物におけるエネルギー消費実態

3.1 エネルギー消費の現状

図 3.1-1 に、2019 年 10 月から 2020 年 9 月末までのコンセントを除く年間一次エネルギー消費量とその内訳を示す。また、図 3.1-2 にコンセントを除く月別の一次エネルギー消費量を示す。同中で、空調部門には室内機、室外機、地中熱ヒートポンプ、冷温水ポンプの消費量を、また換気部門は全熱交換器および換気扇消費量を示す。

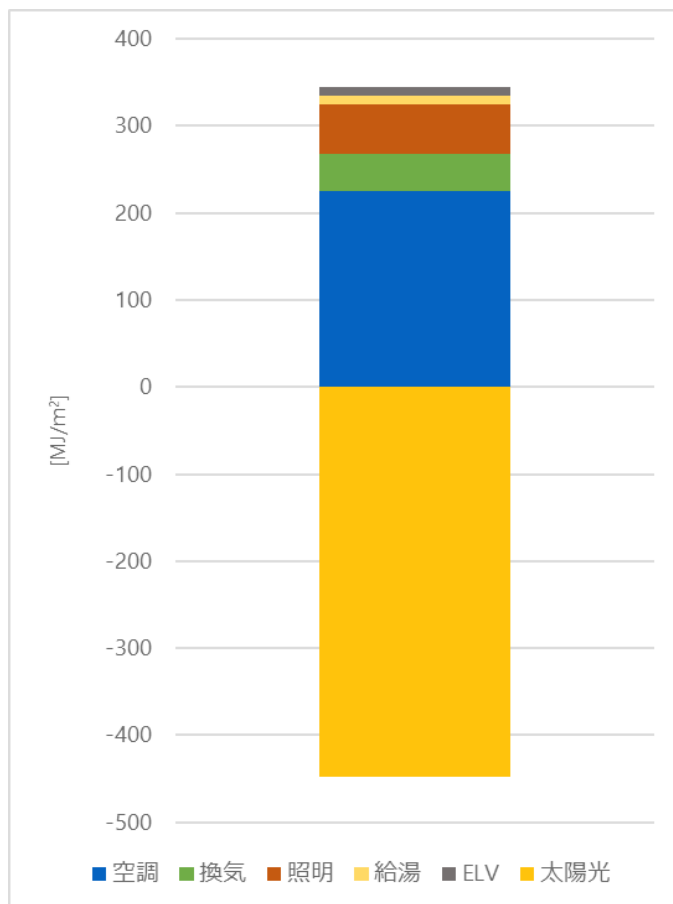


図 3.1-1 年間一次エネルギー消費量と太陽光発電量

図 3.1-1 より、年間を通して正味一次エネルギー消費量がゼロ未満の完全 ZEB 建物である。一般事務用途建物における平均の年間エネルギー原単位が 1443MJ/m²に対して、対象建物ではコンセントによるエネルギー消費を含めても 679.9MJ/m²である。

月別では、冷房期である 8 月および 9 月では一次消費エネルギー量が太陽光発電による電力を上回り、ZEB が未達成である。空調部門における建物全体の年間一次エネルギー消費量は 32%であり、ZEB 評価としてコンセントの一次エネルギー消費量を減じる場合は 65%となる。また、8 月および 9 月のそれは 80%および 73%である。したがって、ZEB 達成の可否については、空調部門の一次エネルギー消費量の削減が必須となる。

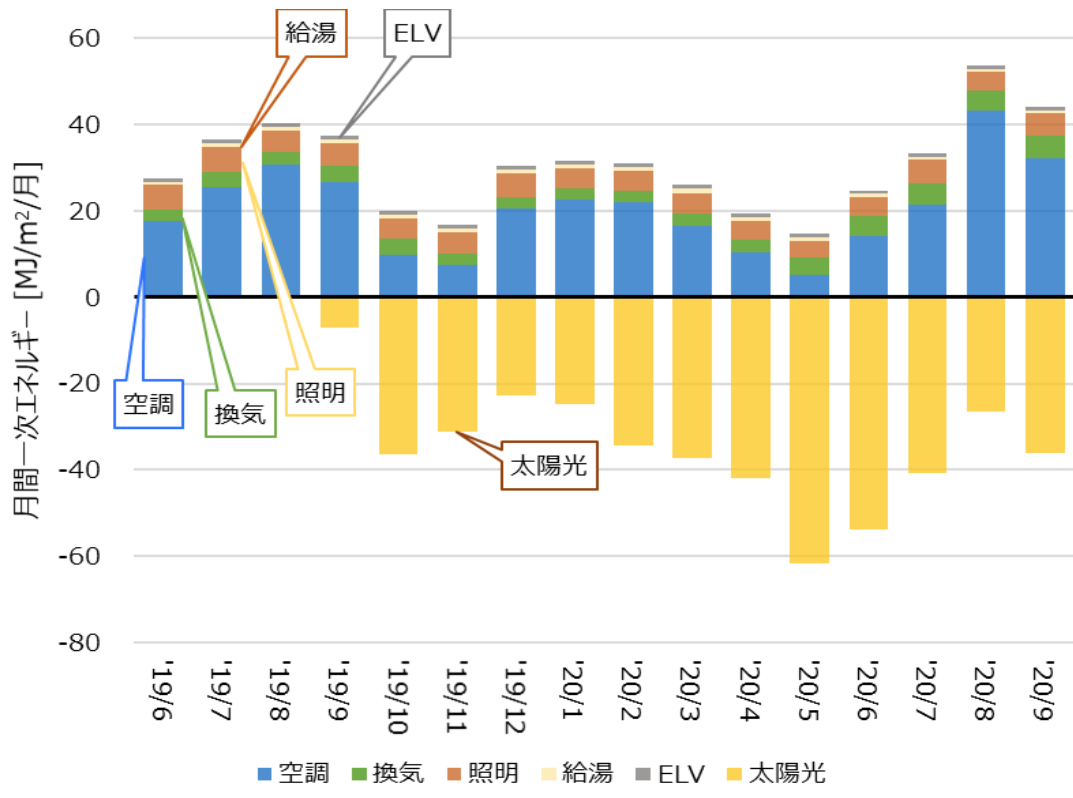


図 3.1-2 年間 ZEB 達成度

3.1.1 代表日消費特性

図 3.1-3 から図 3.14-6 に、暖房中間期、暖房期、冷房期、冷房中間期のエネルギー消費量原単位および太陽光発電量原単位の図を示す。

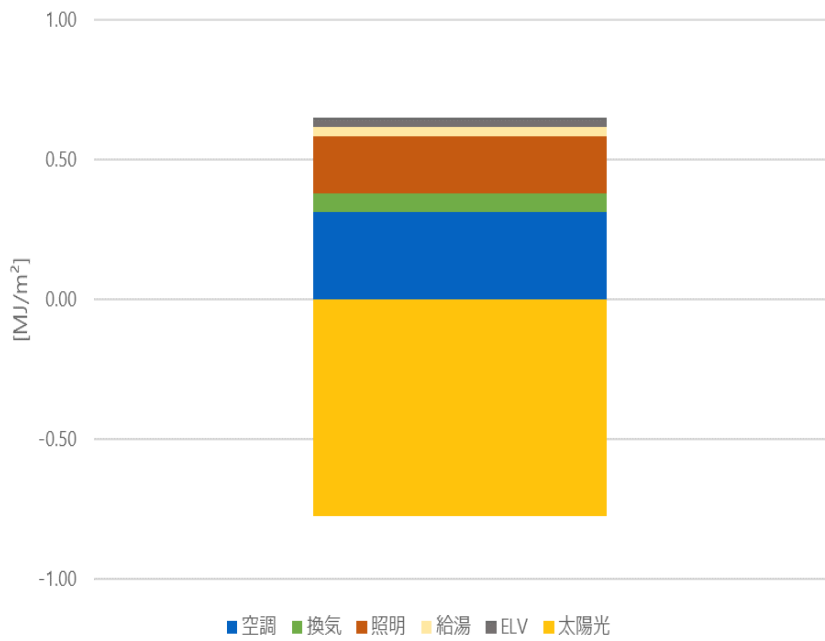


図 3.1-3 暖房中間期のエネルギーバランス (11 月)

上図から一次消費エネルギー量、太陽光発電量ともに非常に少ないが、消費量に対して発電量が若干上回っており ZEB を達成している。

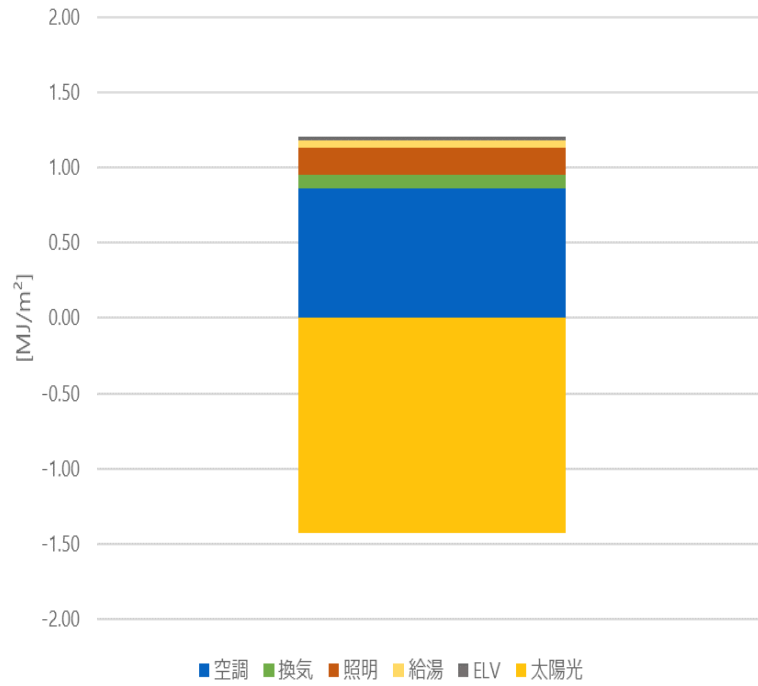


図 3.1-4 暖房期のエネルギーバランス(2月)

上図から暖房中期と比較し、空調によるエネルギー消費量が約3倍になっていることがわかる。しかし日射量が多く発電量の増大により ZEB を達成している。

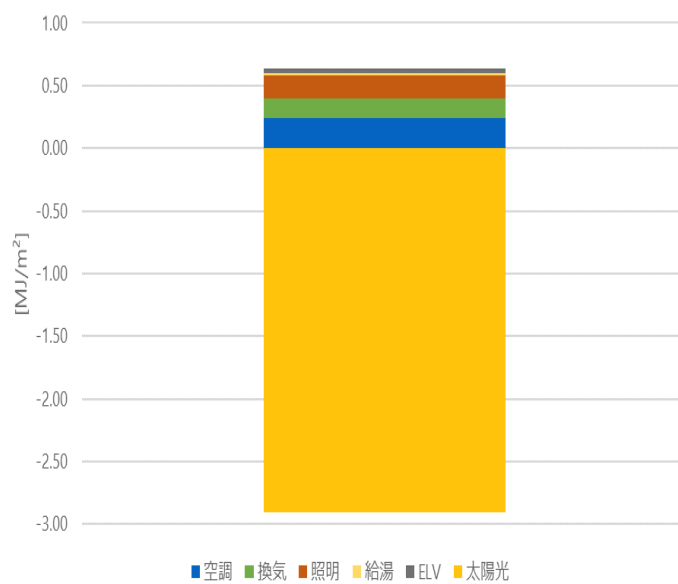


図 3.1-5 冷房中間期のエネルギーバランス(5月)

図より5月で日射量が多く、太陽光発電量が消費電力を大きく上回り ZEB 達成していることがわかる。また新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から換気によるエネルギー消費量が増加していることも明白である。

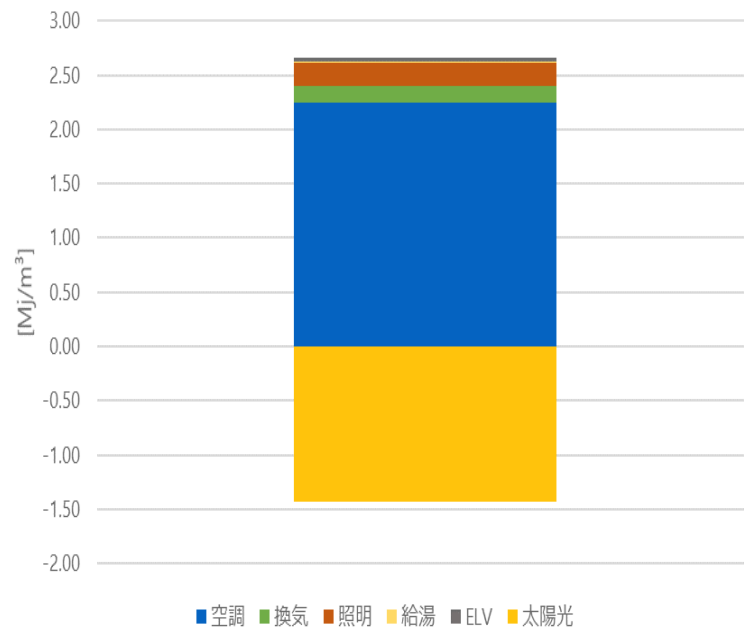


図 3.1-6 冷房期のエネルギーバランス (8月)

上図より、空調によるエネルギー消費量が大幅に増加していることがわかる。これにより全体のエネルギー消費量が大幅に増加し、ZEB を達成できていない。

3.1.2 時間別消費特性

図 3.1-7 から図 3.1-10 に暖房中間期、暖房期、冷房期、冷房中間期の代表日の時間別のエネルギー消費量を示す。

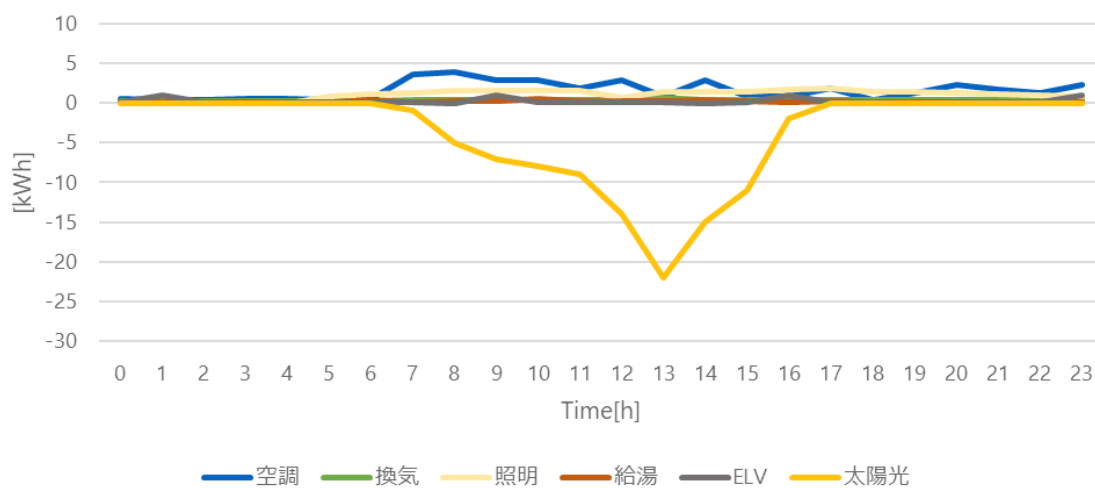


図 3.1-7 暖房中間期の時刻別エネルギーバランス(11月)

図 3.1-7 より消費エネルギー量が少ないが日中の太陽光による発電量が多いことがわかる。

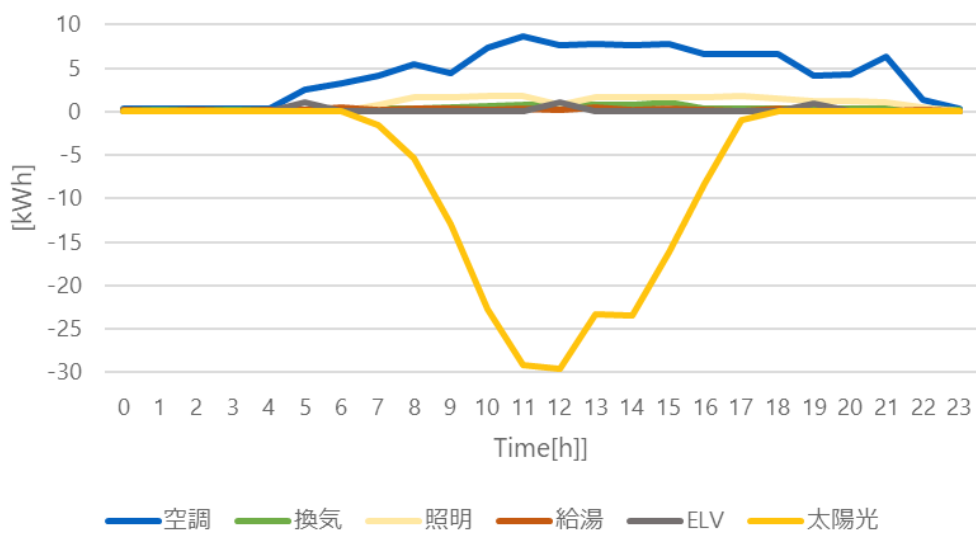


図 3.1-8 暖房期の時刻別エネルギーバランス(2月)

上図より空調消費が夜間にもされていることがわかる。

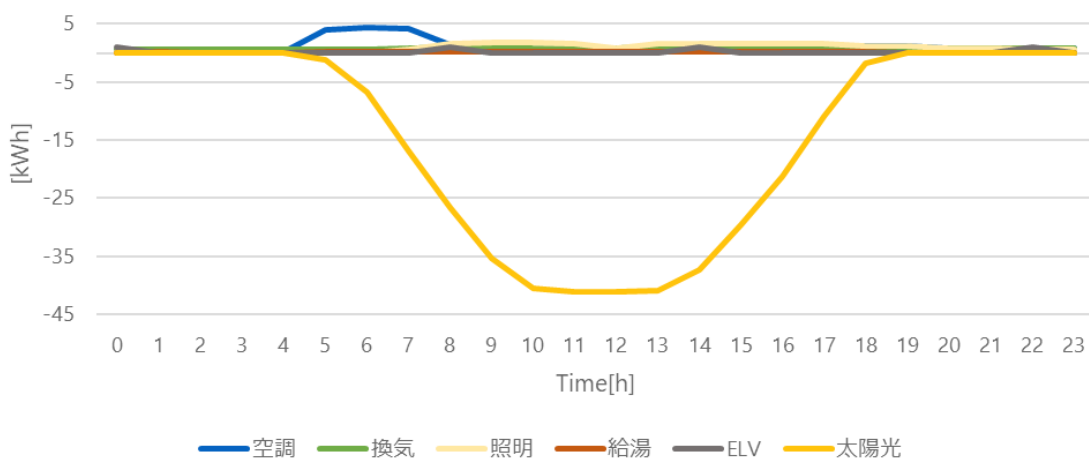


図 3.1-9 冷房中間期の時刻別エネルギーバランス (5 月)

上図より太陽光発電量が暖房期よりも長く多いことがわかる。また、空調機の消費量は午前のみ若干増えることが分かった。

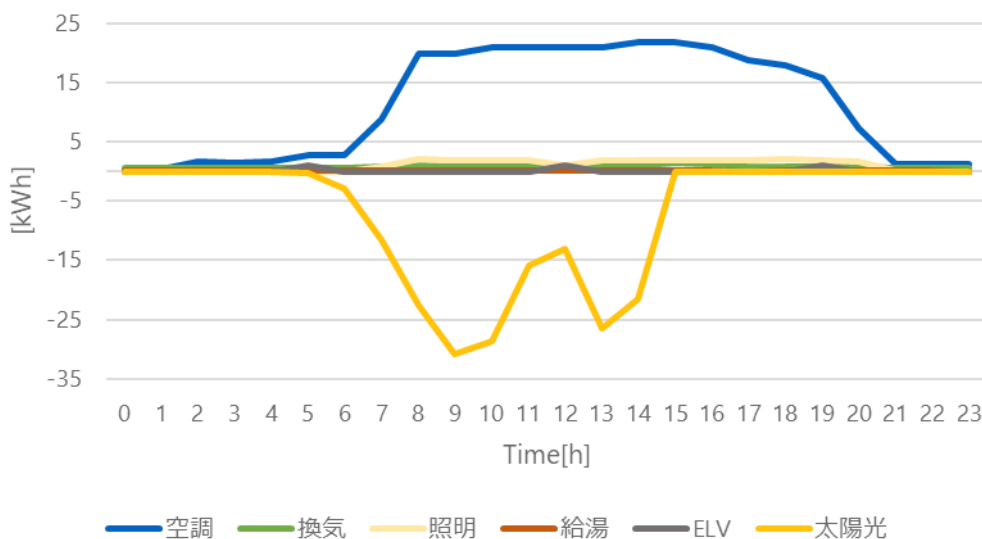


図 3.1-10 冷房期の時刻別エネルギーバランス (8 月)

上図より、新型コロナウイルス感染拡大防止対策のため空調負荷が大きいため空調の消費電力が他に比べ大きくなっていることがわかる。また、太陽光による発電量が下がるのは曇量などの天候によるものだと考えられる。

3.2 室内環境の状況

暖房中間期、暖房期、冷房中間期および冷房期において、2つの事務室と外気の温度、湿度、二酸化炭素濃度推移を解析した。

3.2.1 データ

本節では代表年として2020年1月1日から12月31日までを代表年とした。

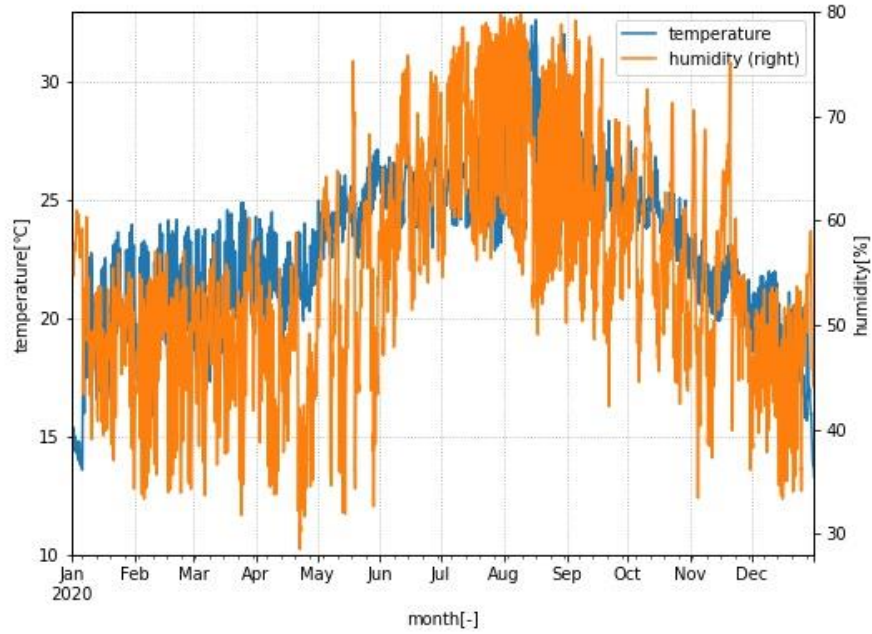


図 3.2-1 年間温度・湿度の推移(事務室 1)

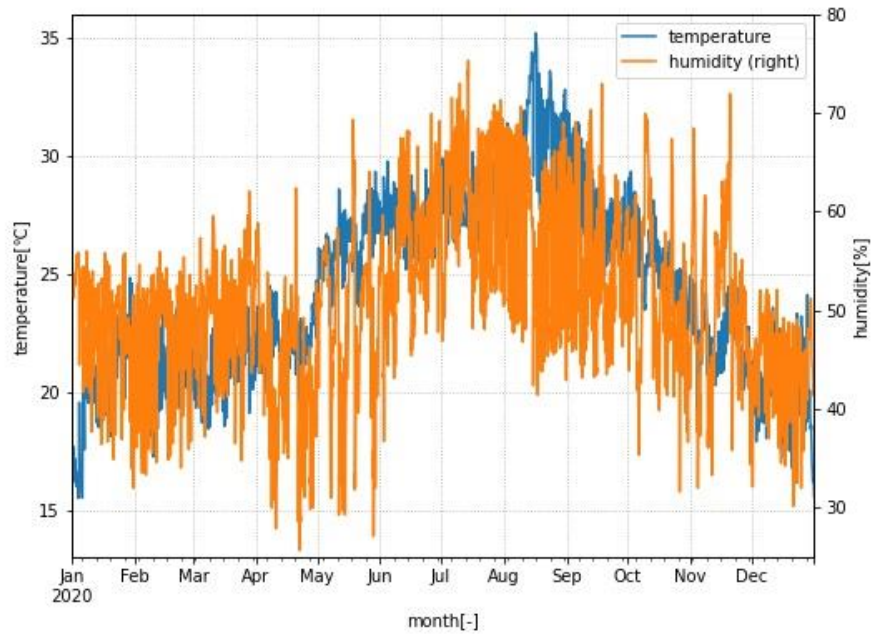


図 3.2-2 年間温度湿度推移(事務室 2)

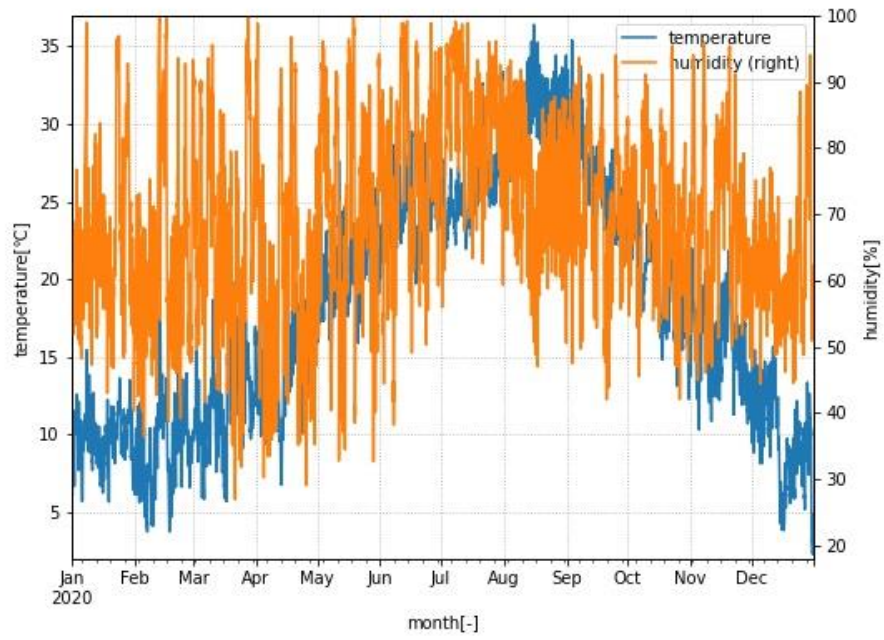


図 3. 2-3 年間外気温度・湿度の推移

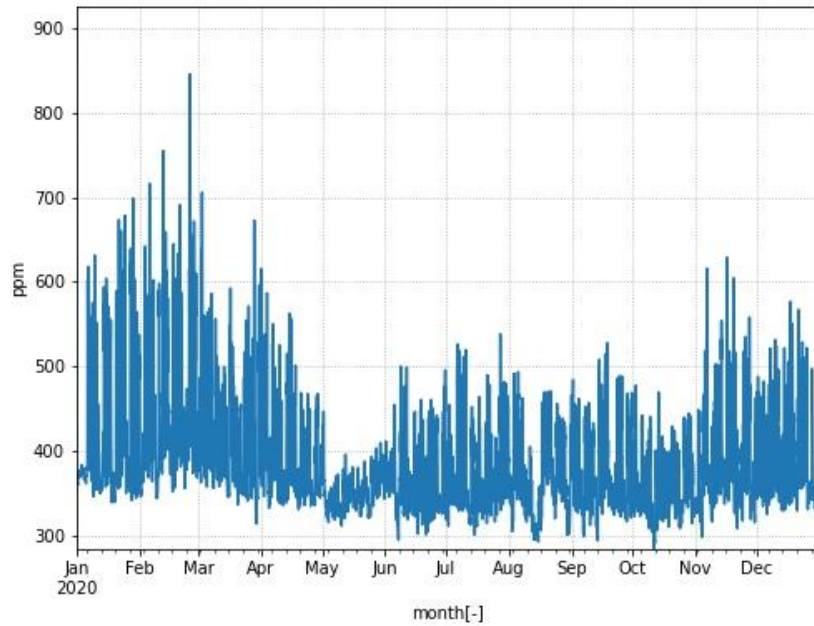


図 3. 2-4 年間二酸化炭素濃度推移(事務室 1)

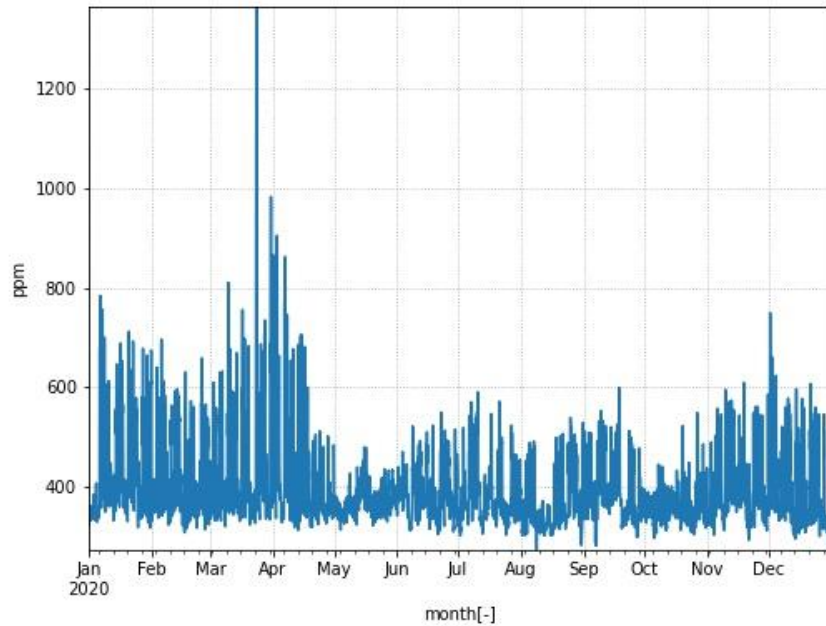


図 3.2-5 年間二酸化炭素濃度推移(事務室 2)

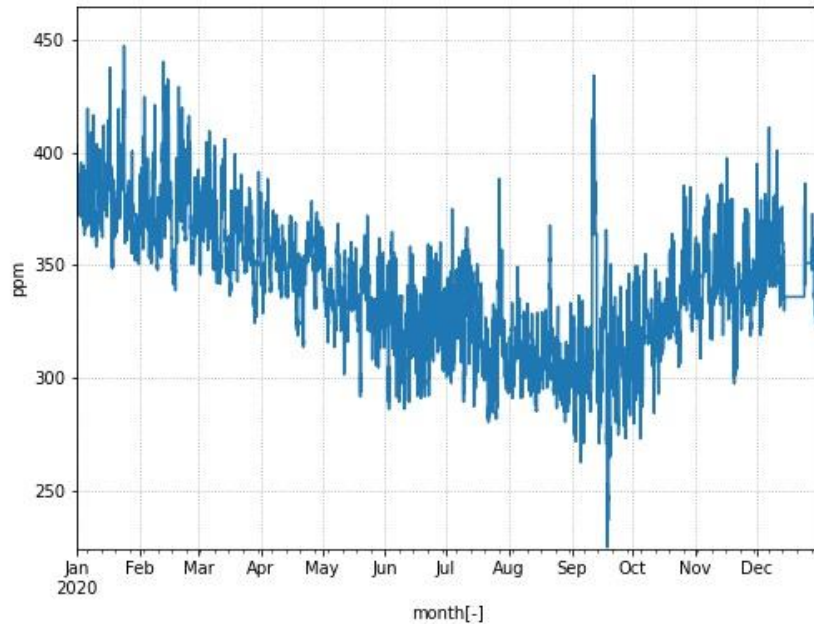


図 3.2-6 年間外気二酸化炭素濃度推移

図 3.2-1～3 より事務室の室温は夏季の温度は外気温との差が小さいが、冬季は外気に比べ 10℃程度温が高い。湿度は室内に比べ外気の方が常に 10%程度高い。図 3.2-4～6 より二酸化炭素濃度に関して、外気では、概ね 400ppm 以下で推移しているが事務室では執務者がいるため事務室 1 では冬季に 850ppm、事務室 2 では 1000ppm を超える数値が確認された。また、新

型コロナウイルス感染拡大防止対策として定期的な窓開け換気を行っているため、第一回目の緊急事態宣言後からは概ね600ppmを下回る濃度で推移していることがわかる。

3.2.2 月データ

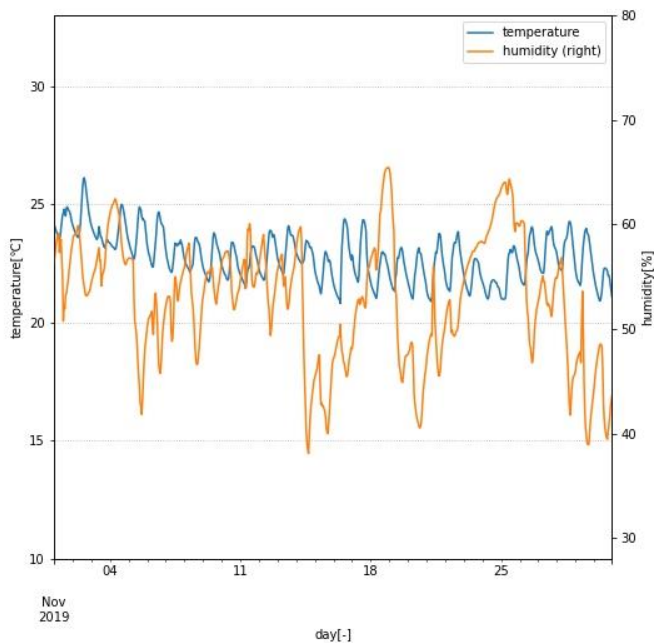


図 3.2-7 室内温度、湿度(事務室 1、11 月)

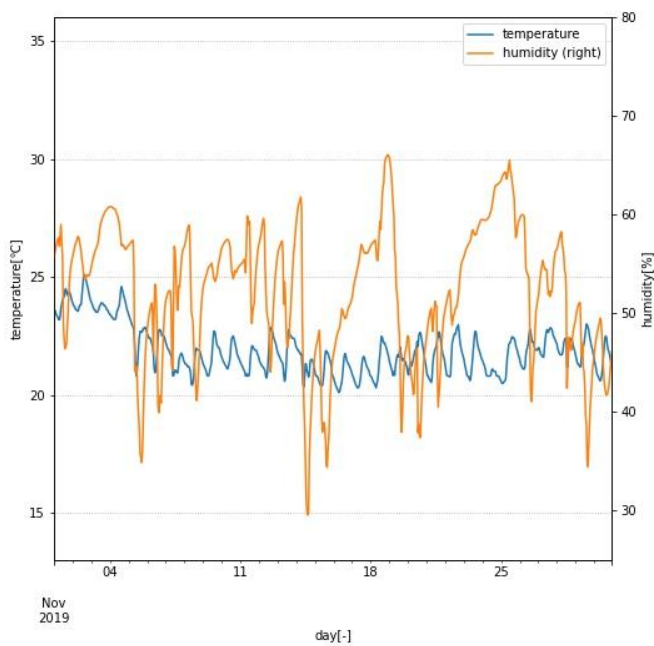


図 3.2-8 室内温度、湿度(事務室 2、11 月)

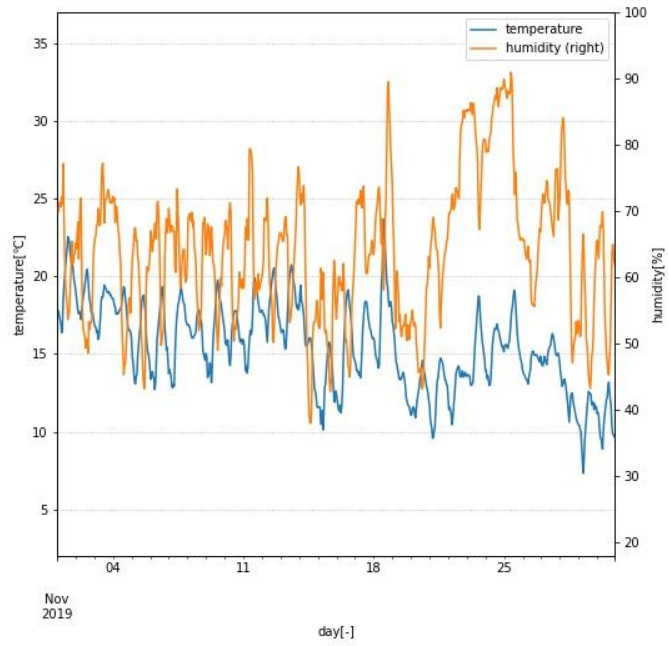


图 3.2-9 外気温度、湿度(11月)

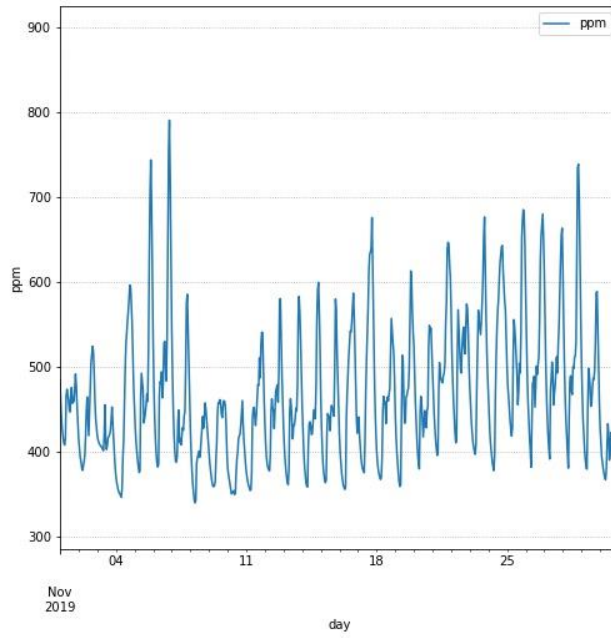


图 3.2-10 二酸化炭素濃度(事務室 1、11月)

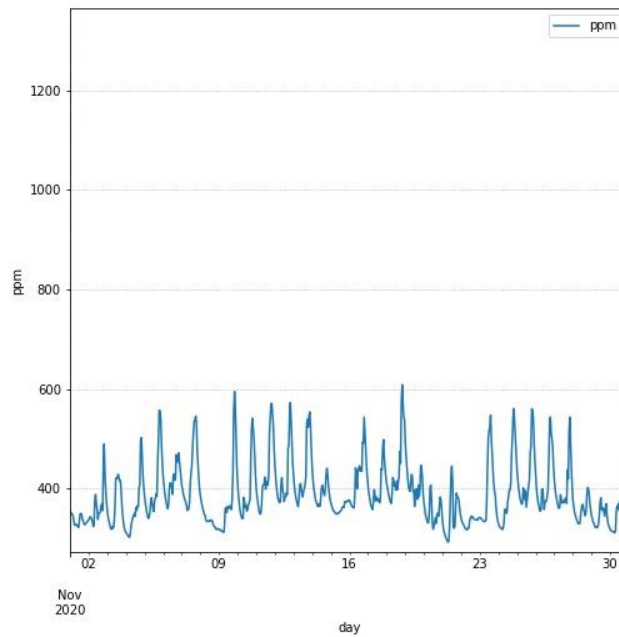


図 3.2-11 二酸化炭素濃度(事務室 2、11 月)

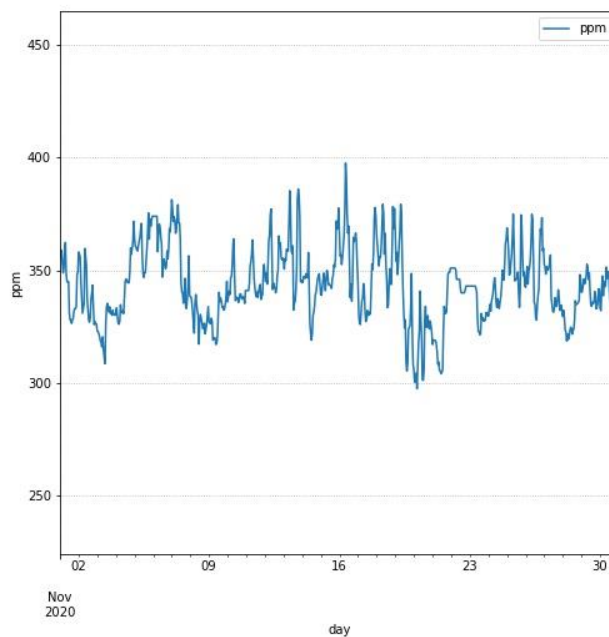


図 3.2-12 外気二酸化炭素濃度(11 月)

暖房中間期である 11 月の事務室 1 の室温は 22℃から 24℃で推移しており、事務室 2 は 21℃から 23℃で推移していることがわかる。二酸化炭素濃度は事務室 1 では約 400ppm から 700ppm で推移しており、事務室 2 では約 350ppm から 600ppm で推移している。

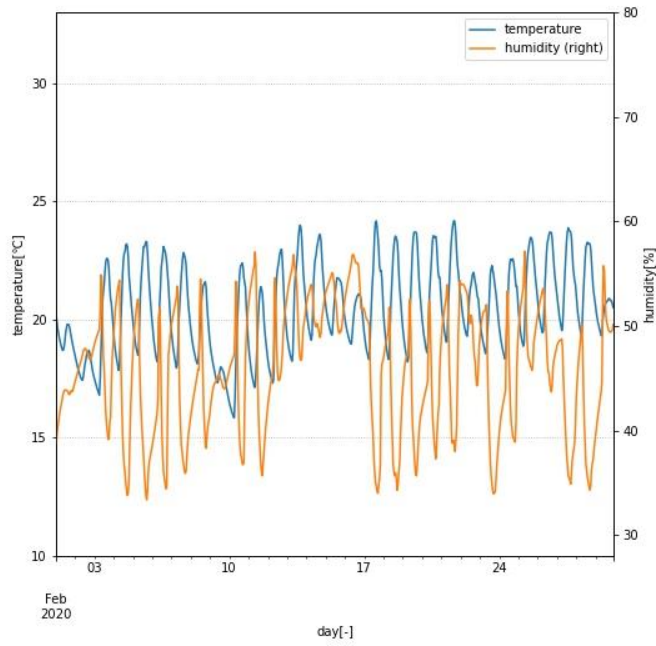


图 3.2-13 室内温度、湿度(事務室 1、2 月)

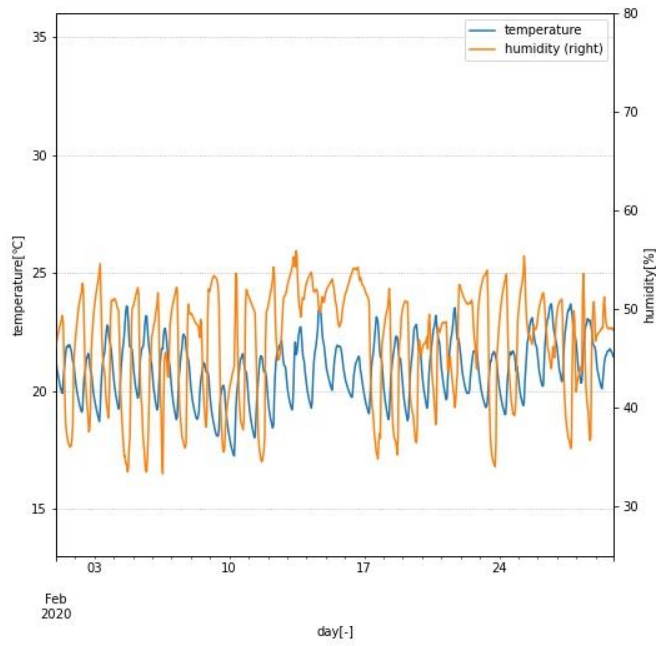


图 3.2-14 室内温度、湿度(事務室 2、2 月)

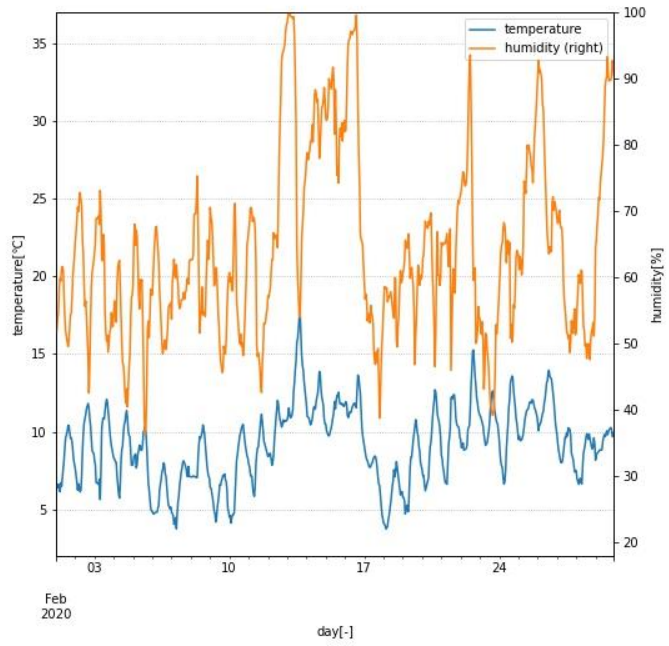


图 3.2-15 外気温度、湿度(2月)

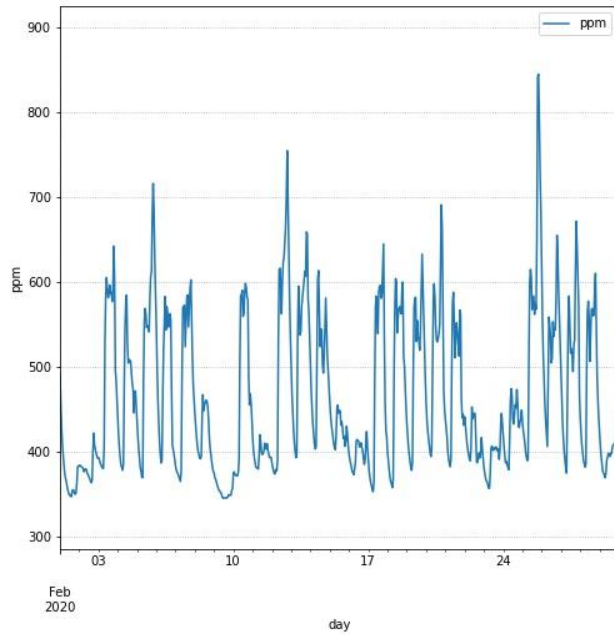


图 3.2-16 室内二酸化炭素濃度(事務室1、2月)

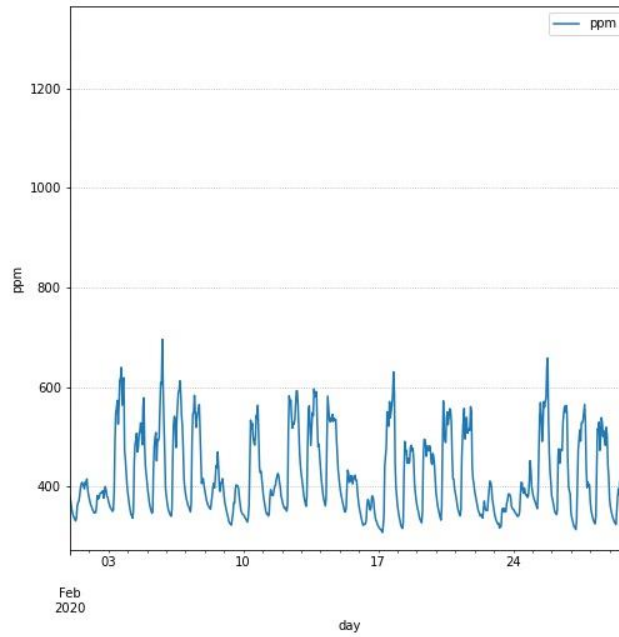


図 3.2-17 室内二酸化炭素濃度(事務室 2、2月)

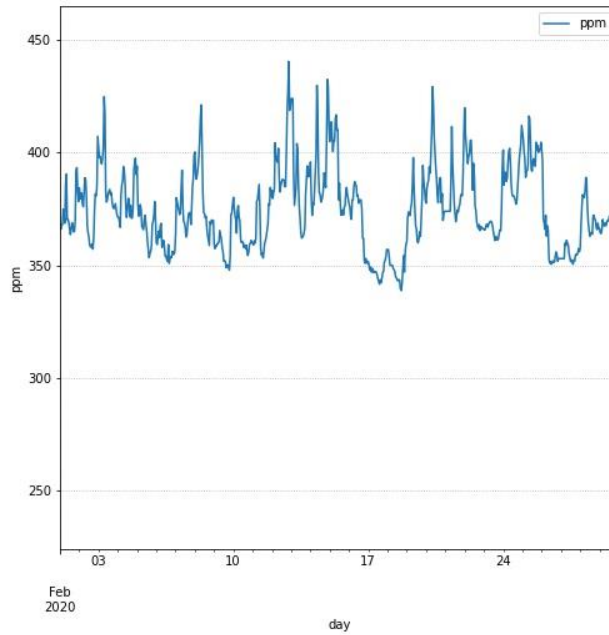


図 3.2-18 外気二酸化炭素濃度(2月)

暖房期である2月は事務室において勤務時間で約24℃で推移しており、二酸化炭素濃度は概ね600ppmで推移している。

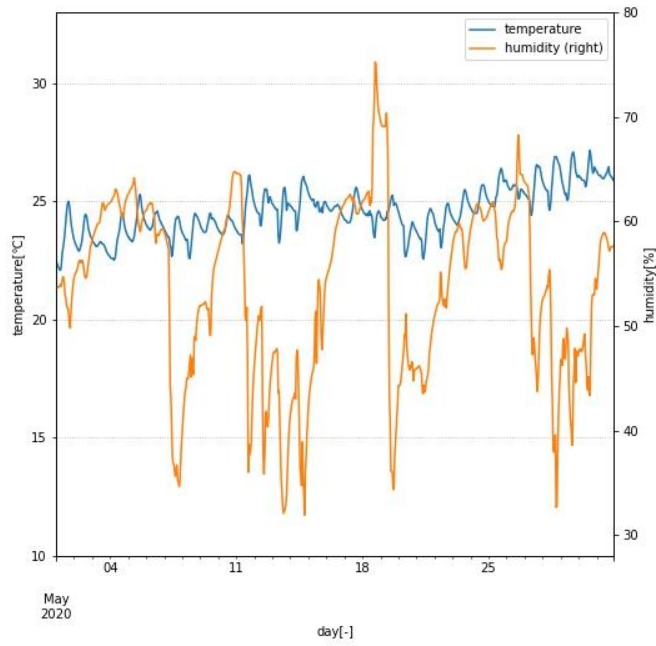


图 3.2-19 室内温度、湿度(事務室 1、5 月)

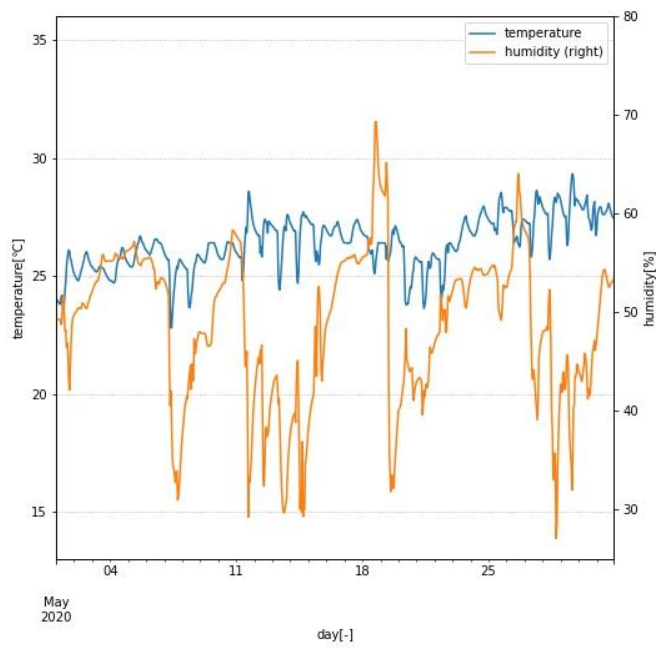


图 3.2-20 室内温度、湿度(事務室 2、5 月)

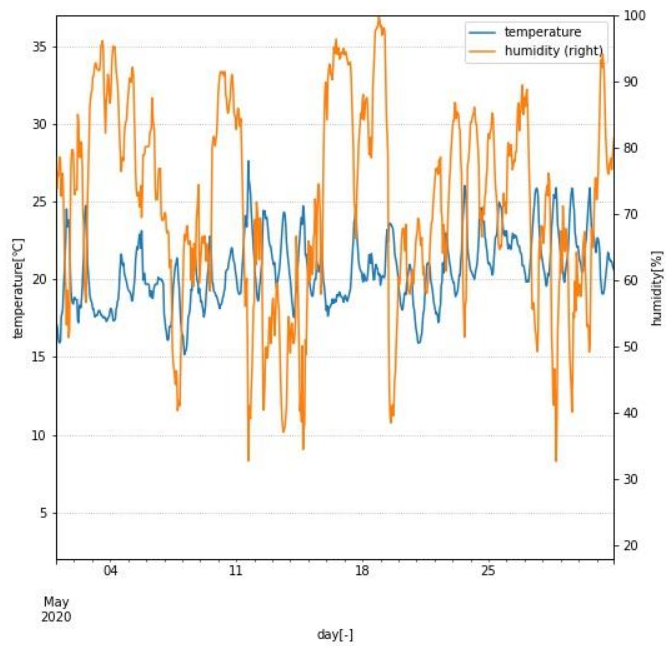


図 3.2-21 外気温度、湿度(5月)

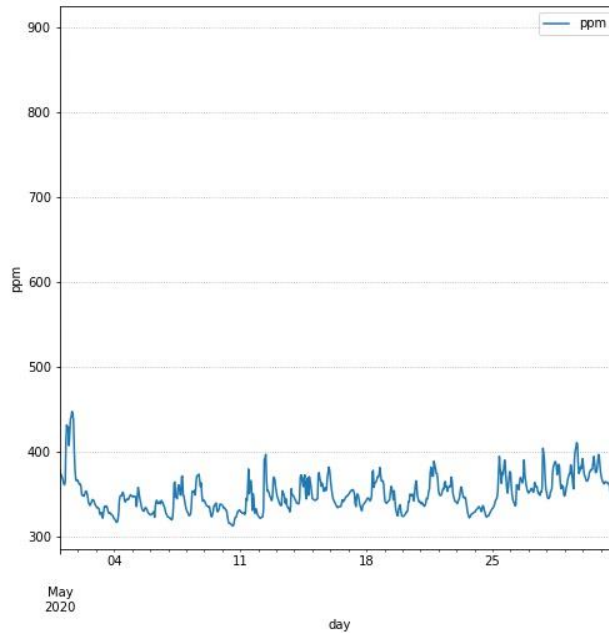


図 3.2-22 室内二酸化炭素濃度(事務室1、5月)

冷房中間期である5月は新型コロナウイルス感染拡大防止のための緊急事態宣言が発令されていたため、対象建物には勤務者がいなかった。そのため二酸化炭素濃度は増加が少ない。

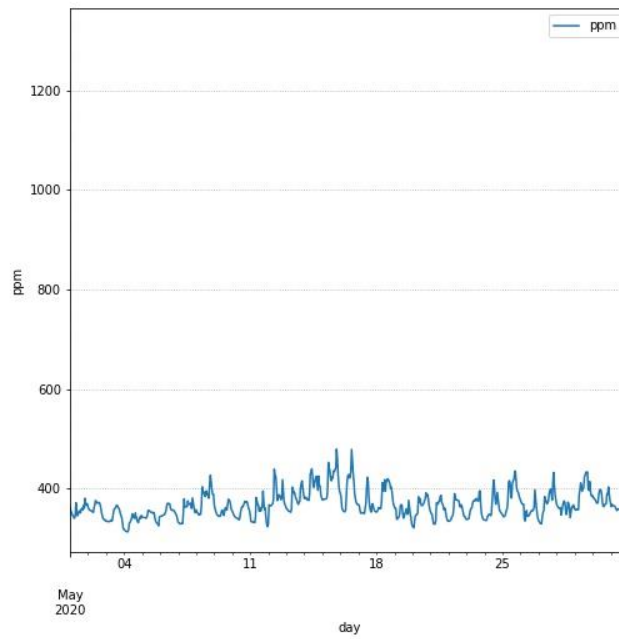


图 3.2-23 室内二氧化碳浓度(事务室 2、5月)

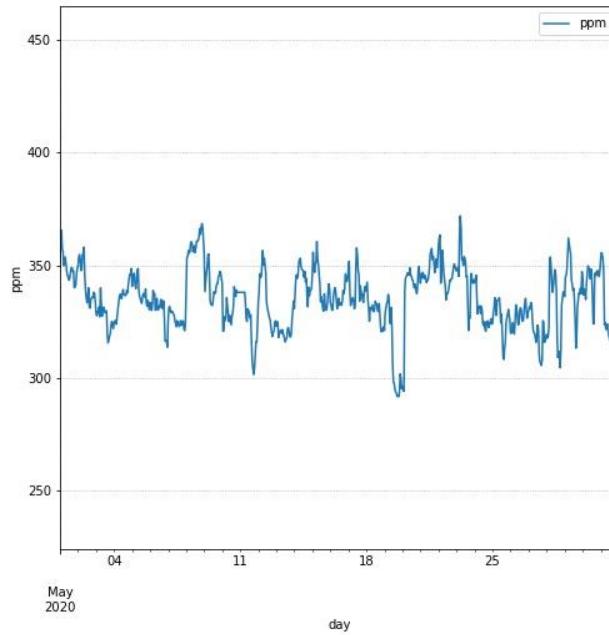


图 3.2-24 外气二氧化碳浓度(5月)

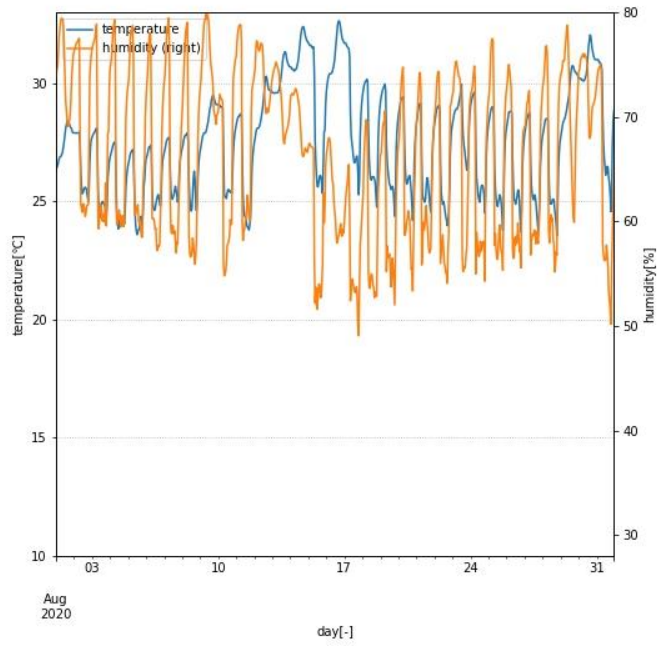


图 3.2-25 室内温度、湿度(事務室 1、8 月)

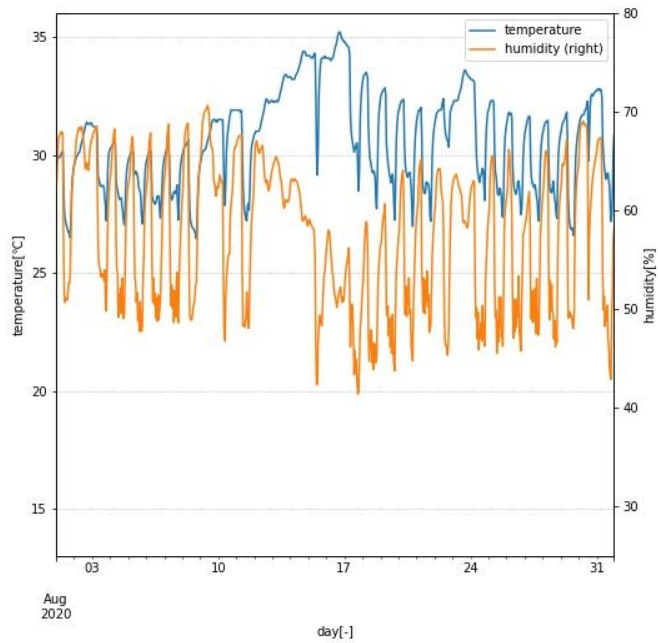


图 3.2-26 室内温度、湿度(事務室 2、8 月)

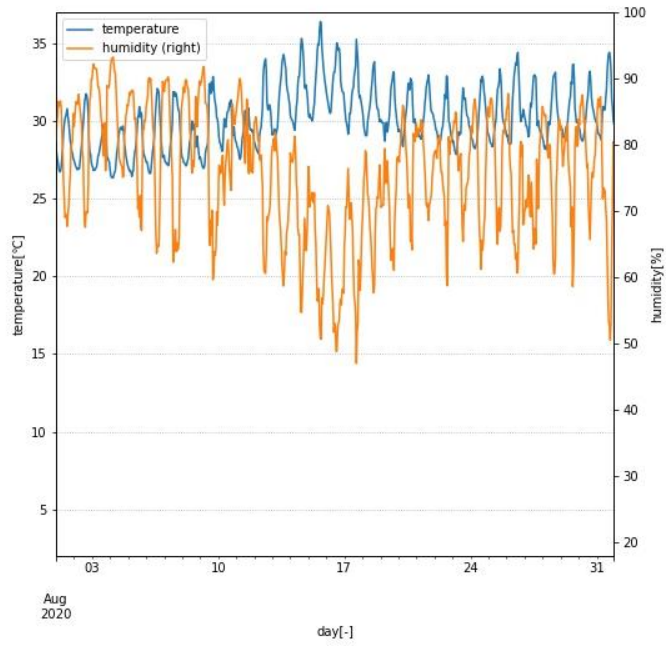


图 3.2-27 外気温度、湿度(8月)

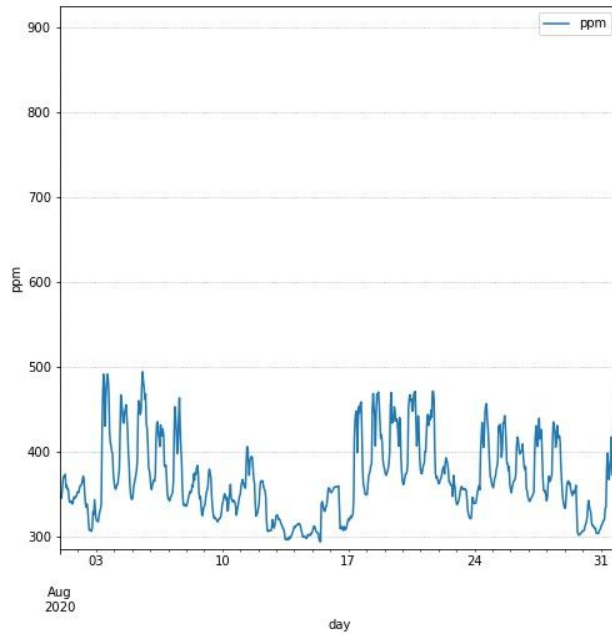


图 3.2-28 室内二酸化炭素濃度(事務室1、8月)

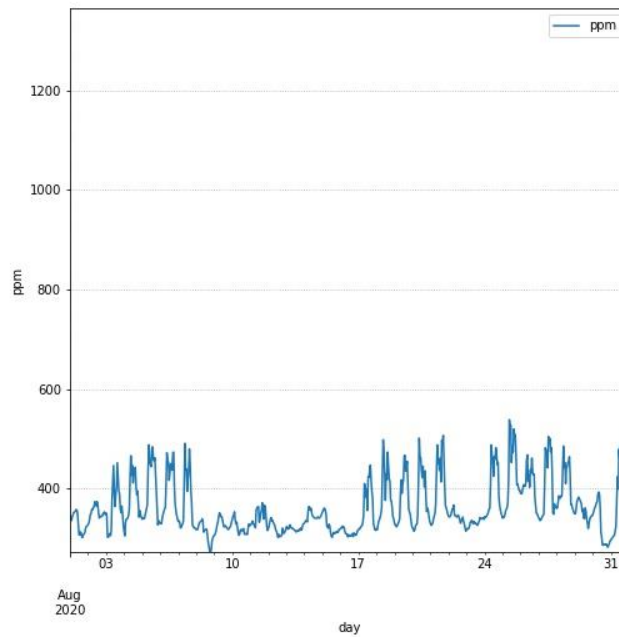


図 3.2-29 室内二酸化炭素濃度(事務室 2、8月)

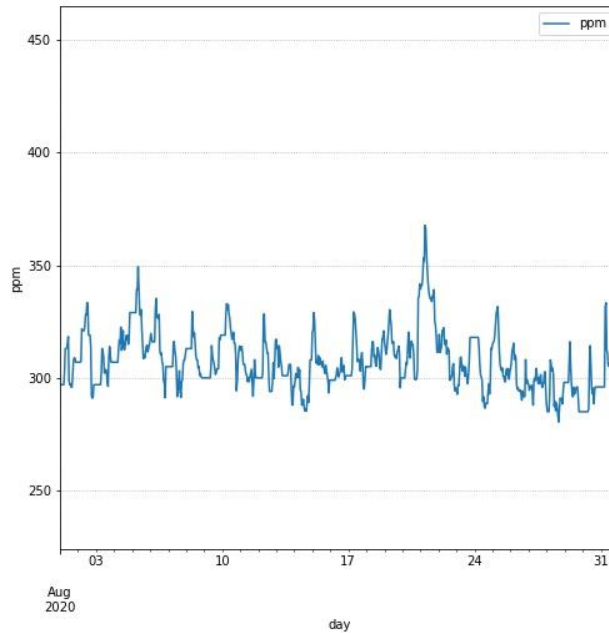


図 3.2-30 外気二酸化炭素濃度(8月)

冷房期である8月はお盆休みがあるが、平日の事務室の気温が約27℃から30℃で推移している。また、二酸化炭素濃度を見ると外気よりも100ppm程度高く維持している。これは新型コロナウイルス感染拡大防止対策による窓開け換気の影響である。

3.2.3 週データ

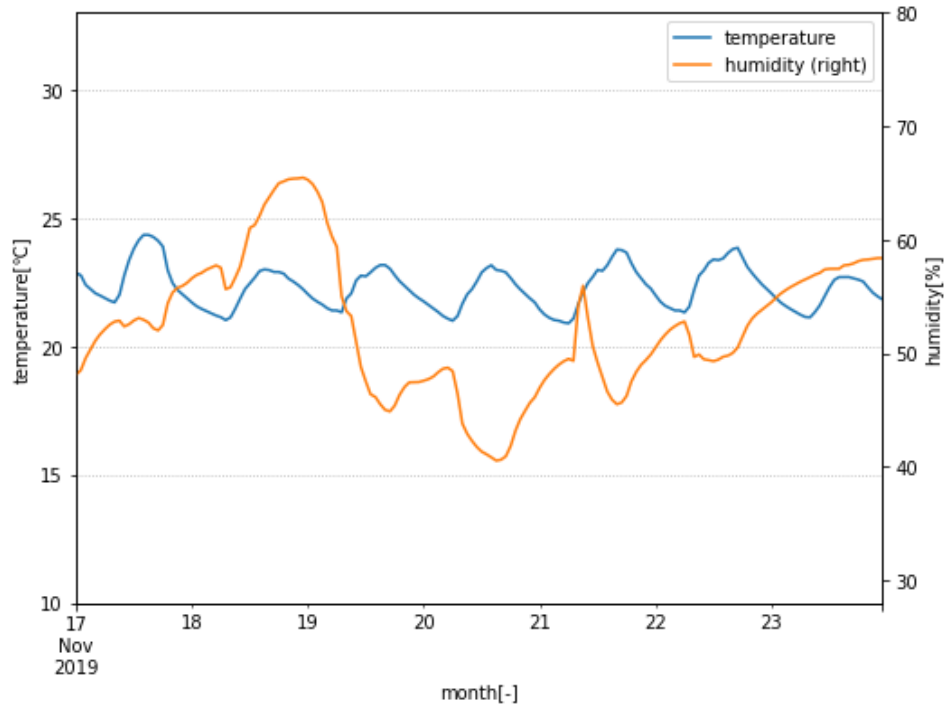


図 3.2-31 週間室内温度、湿度(事務室 1、11 月)

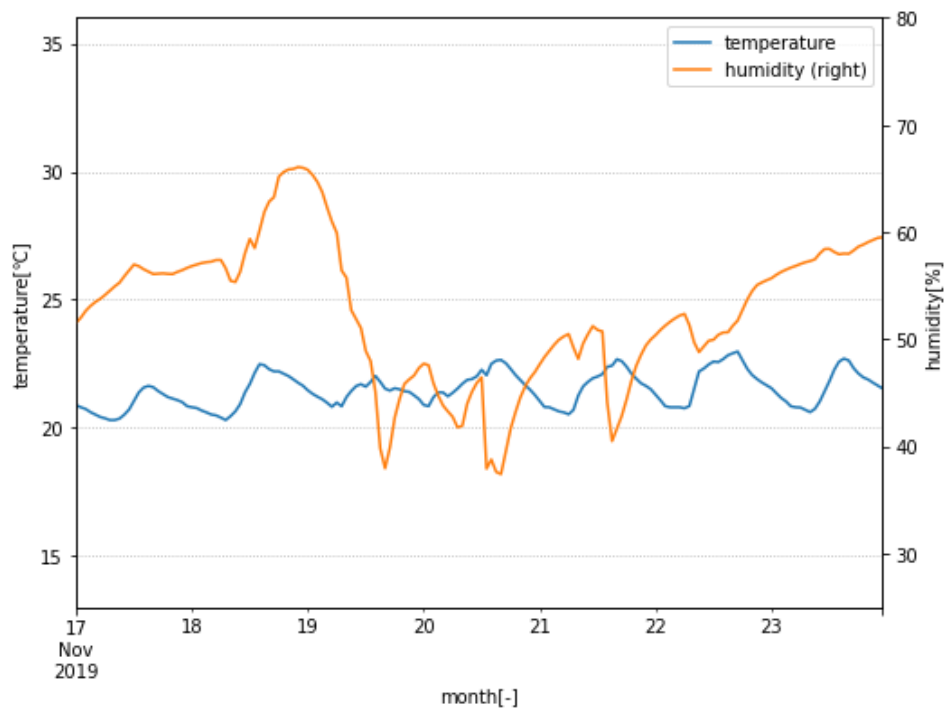


図 3.2-32 週間室内温度、湿度(事務室 2、11 月)

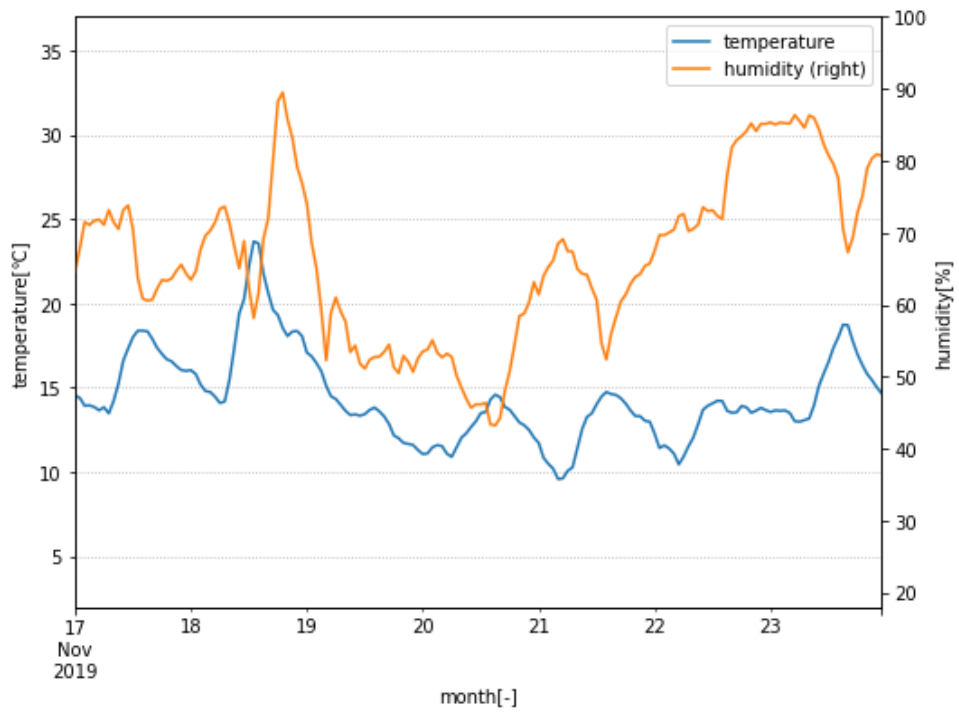


図 3.2-33 週間外気温度、湿度(11月)

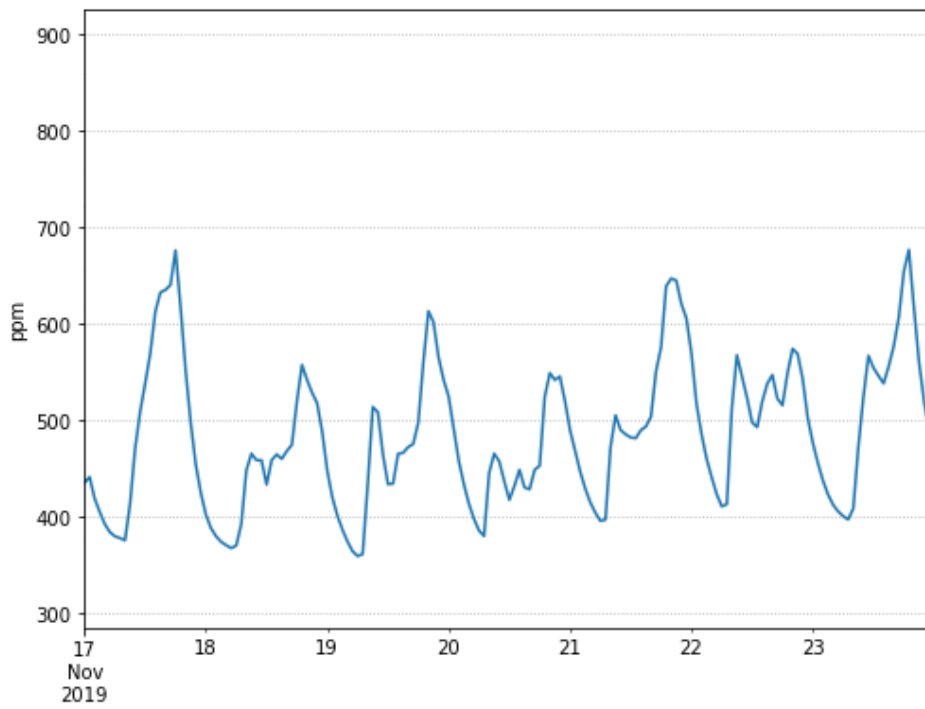


図 3.2-34 週間二酸化炭素濃度(事務室 1、11月)

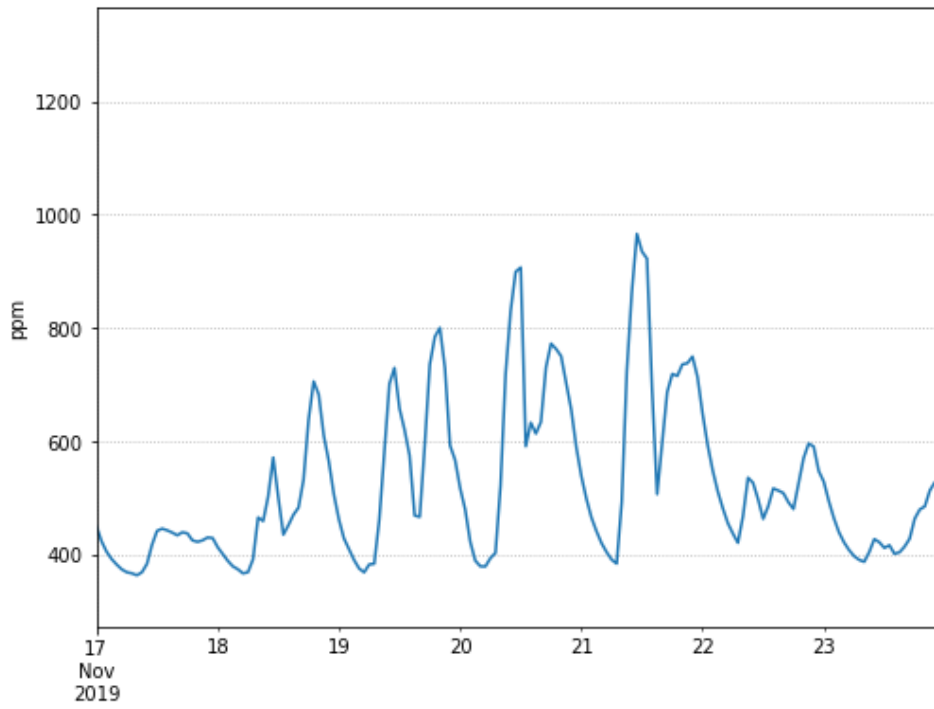


图 3.2-35 週間二酸化炭素濃度(事務室 2、11 月)

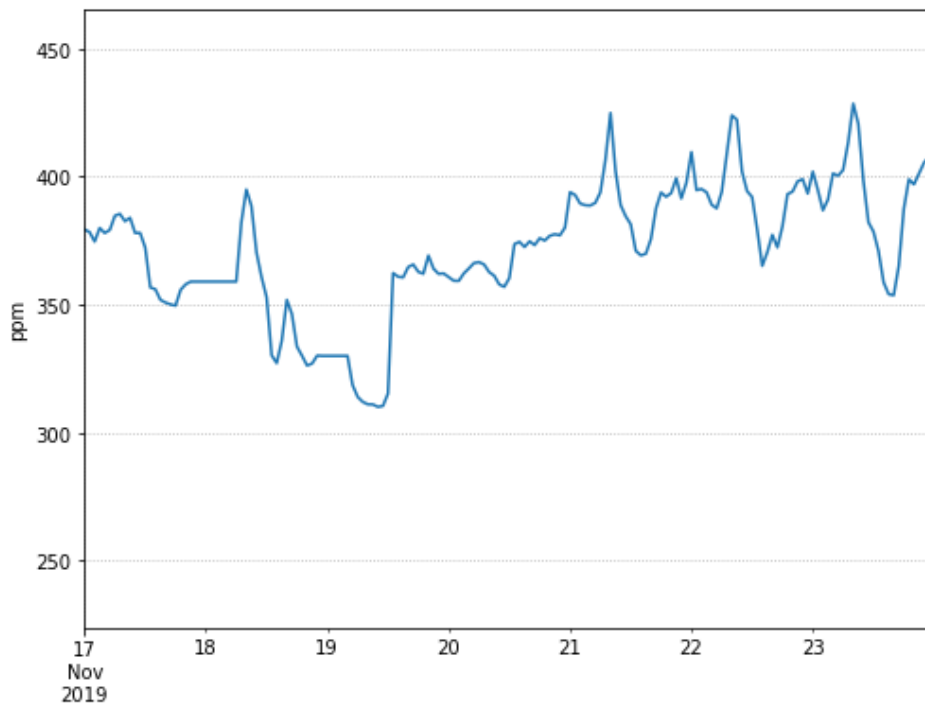


图 3.2-36 週間外気二酸化炭素濃度(11 月)

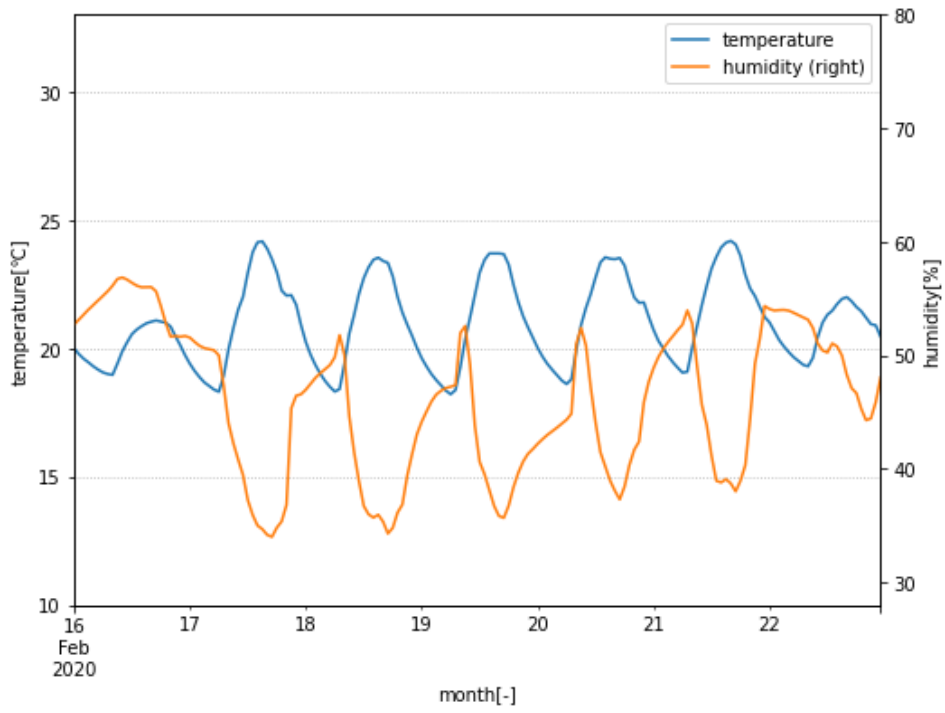


図 3.2-37 週間室内温度、湿度(事務室 1、2月)

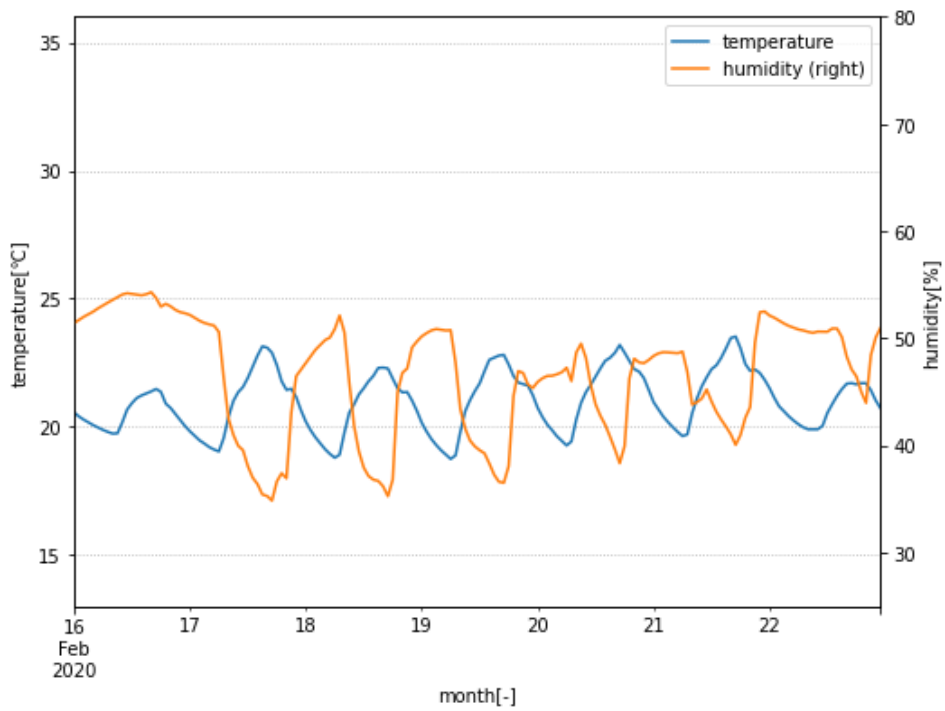


図 3.2-38 週間室内温度、湿度(事務室 2、2月)

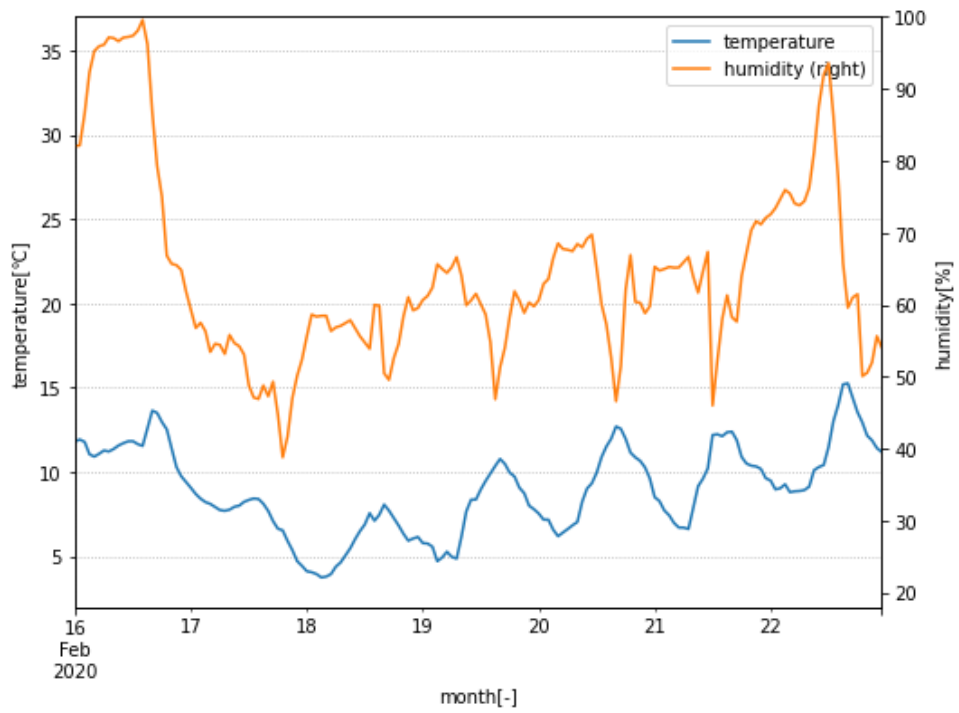


図 3.2-39 週間外気室内温度、湿度(2月)

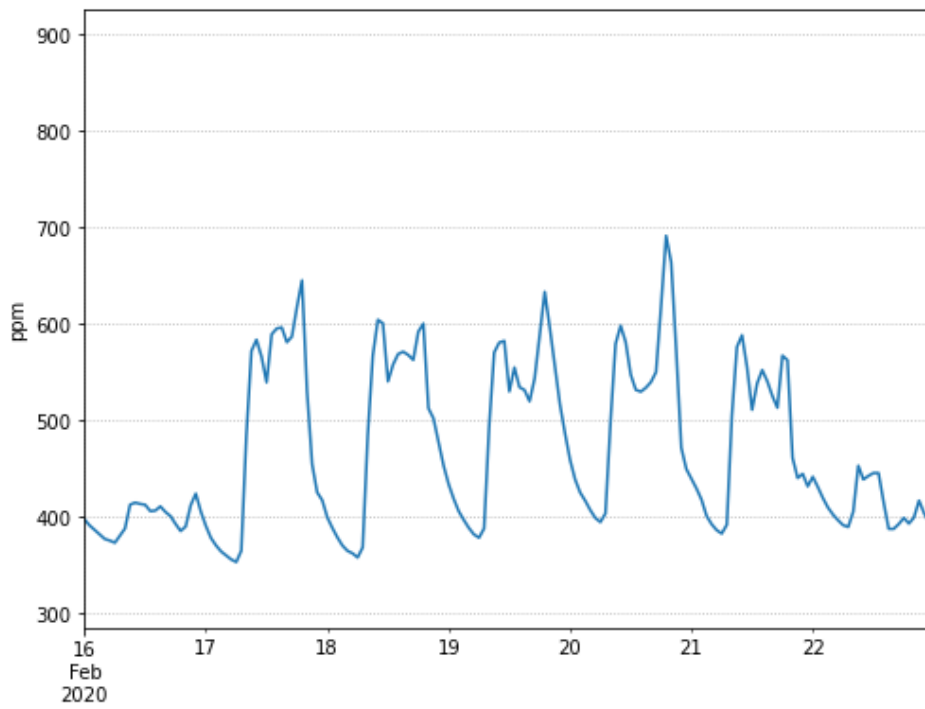


図 3.2-40 週間二酸化炭素濃度(事務室 1、2月)

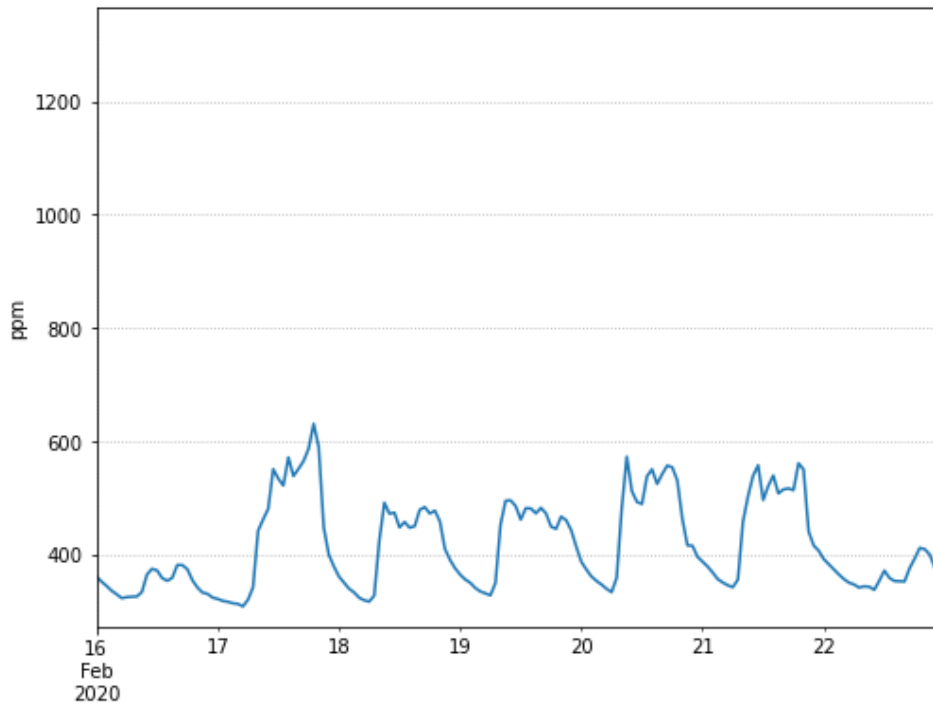


図 3.2-41 週間二酸化炭素濃度(事務室 2、2月)

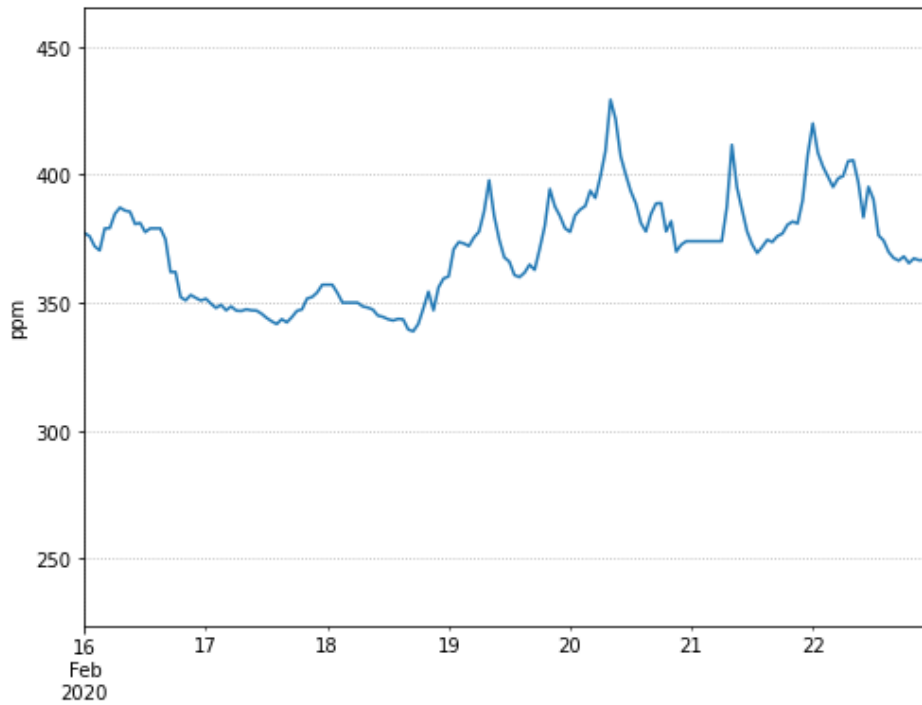


図 3.2-42 週間外気二酸化炭素濃度(2月)

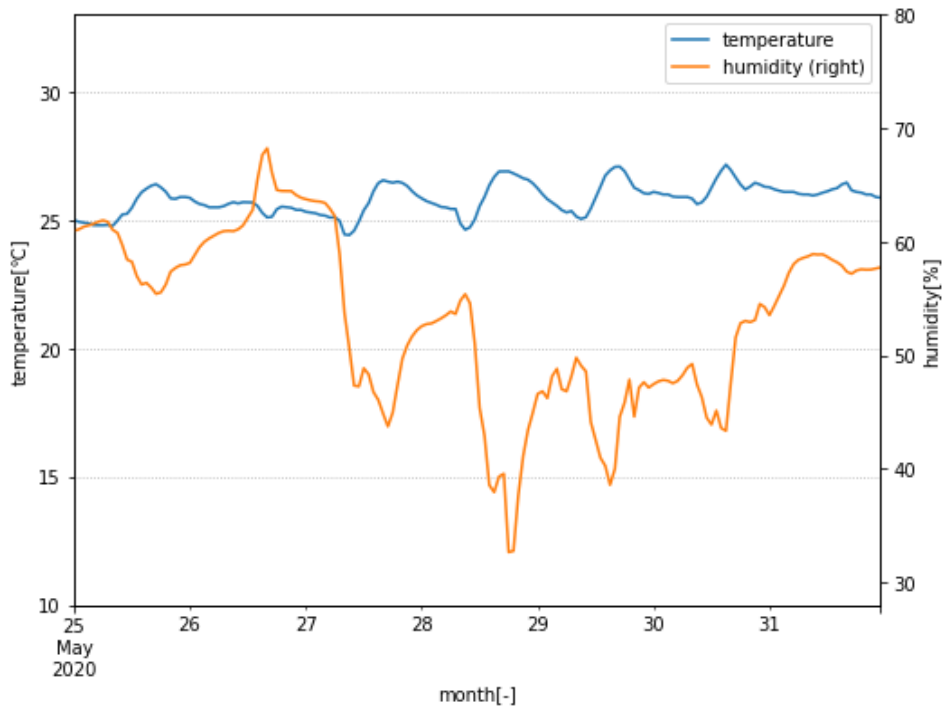


図 3.2-43 週間室内温度、湿度(事務室 1、5月)

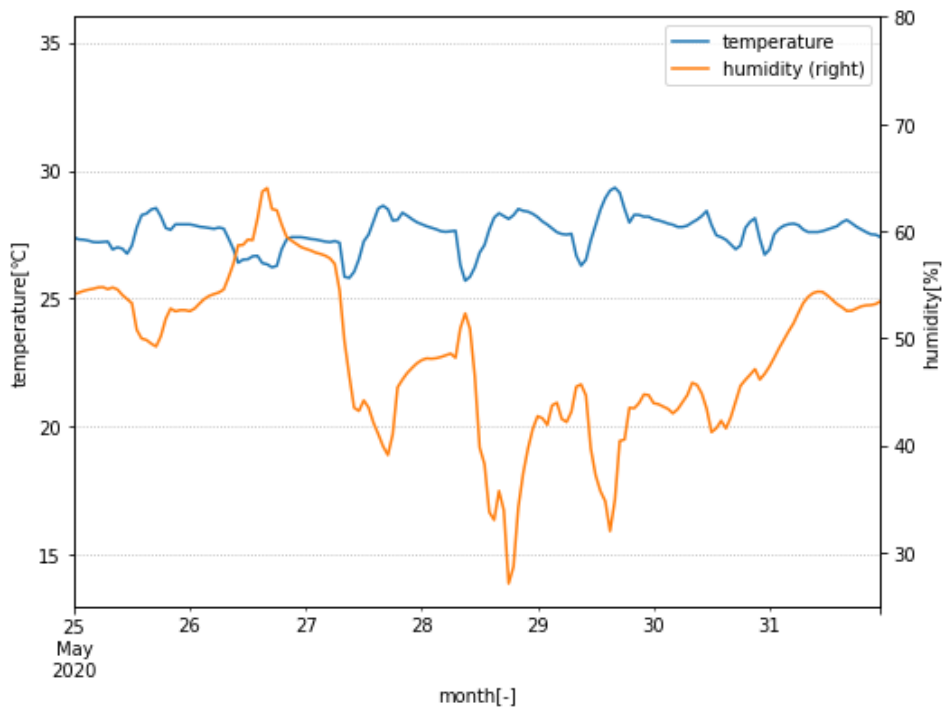


図 3.2-44 週間室内温度、湿度(事務室 2、5月)

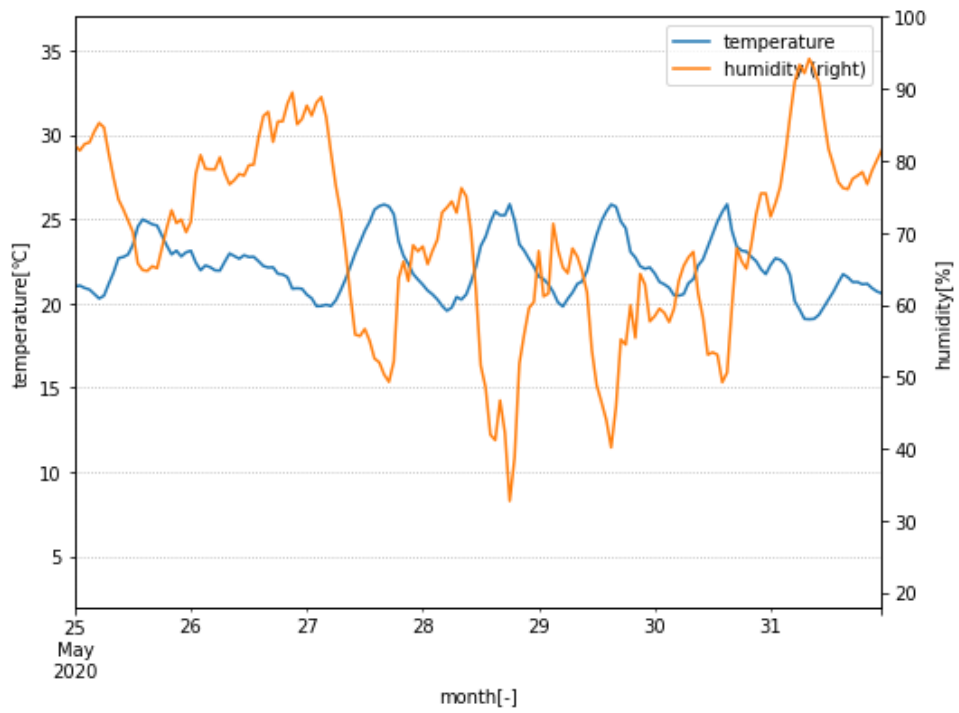


図 3.2-45 週間外気温度、湿度(5月)

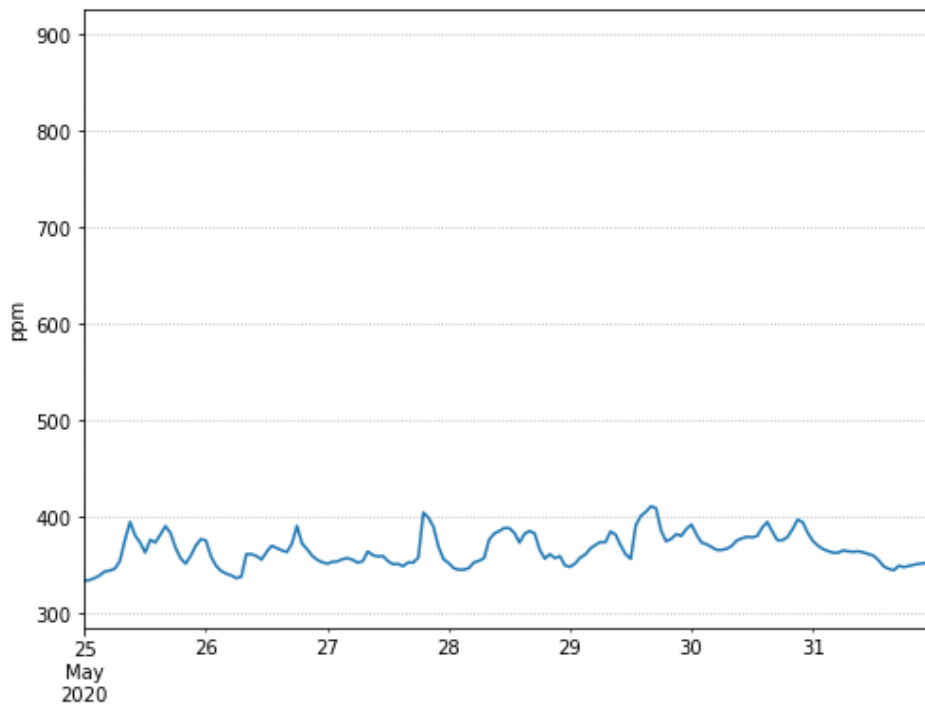


図 3.2-46 週間二酸化炭素濃度(事務室 1、5月)

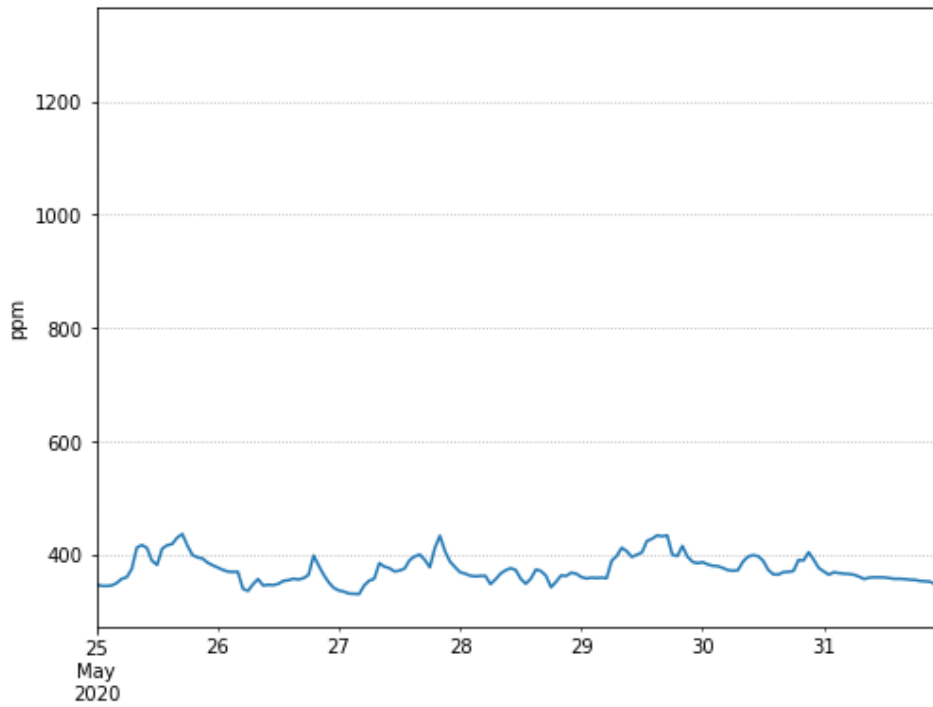


図 3.2-47 週間二酸化炭素濃度(事務室 2、5月)

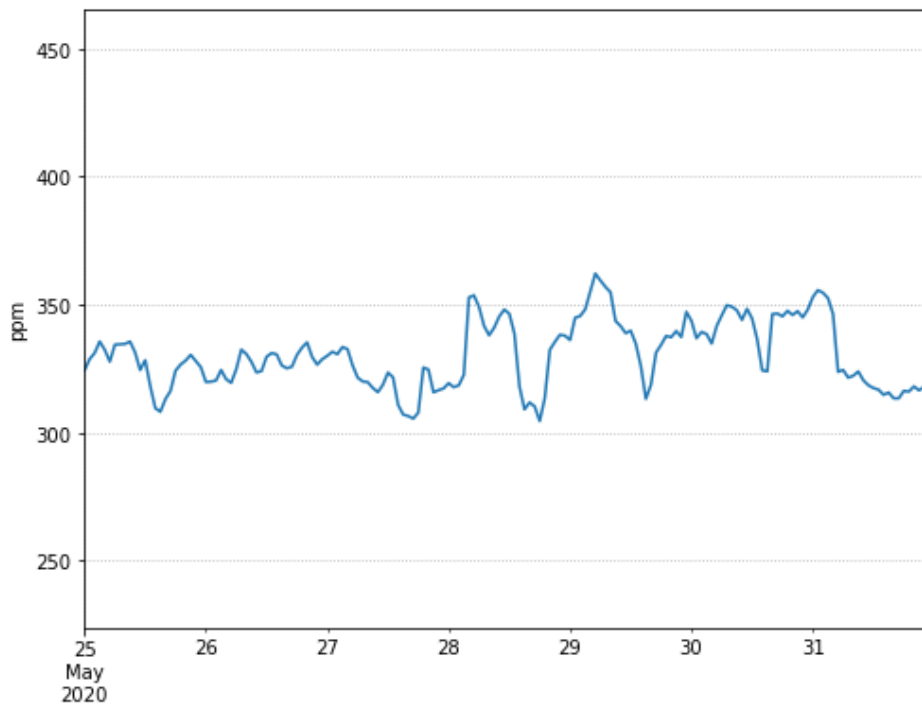


図 3.2-48 週間外気二酸化炭素濃度(5月)

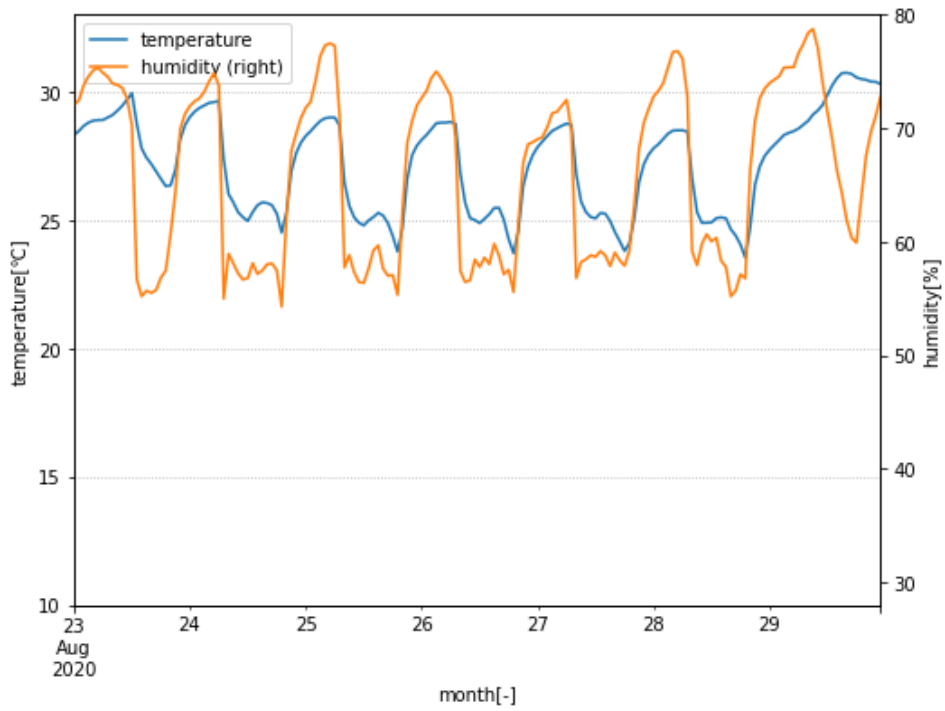


図 3.2-49 代表週室内温度、湿度(事務室 1、8月)

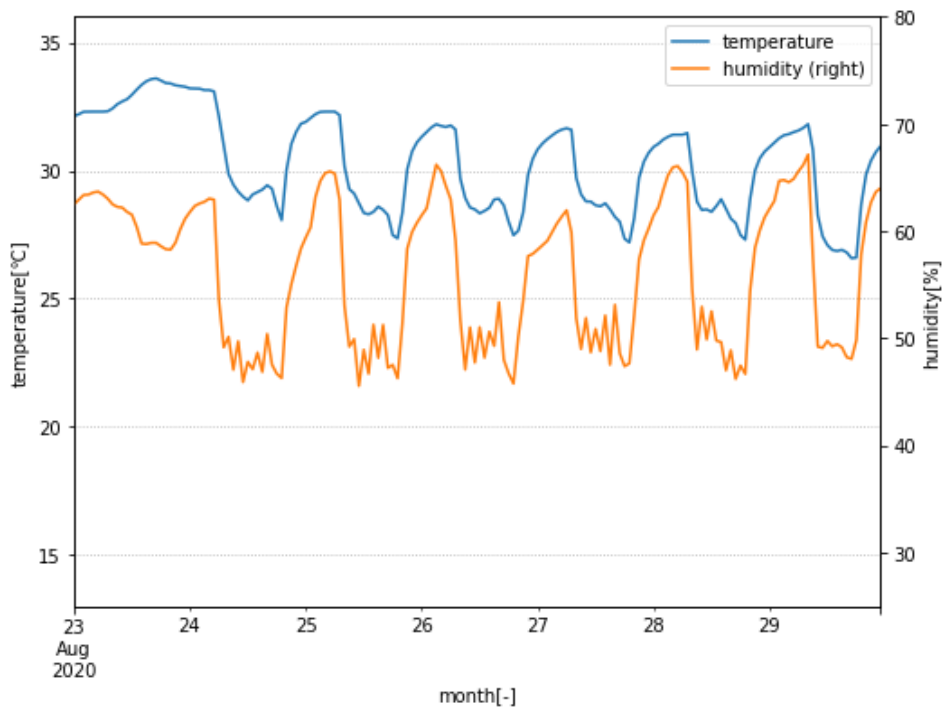


図 3.2-50 週間室内温度、湿度(事務室 2、8月)

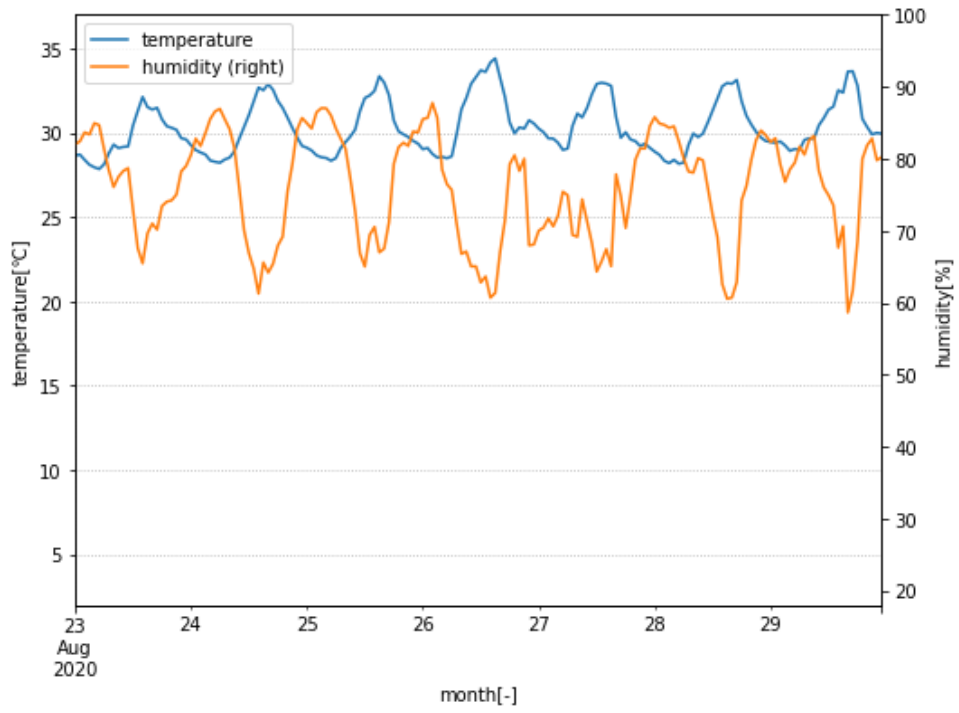


図 3.2-51 週間外気温度、湿度(8月)

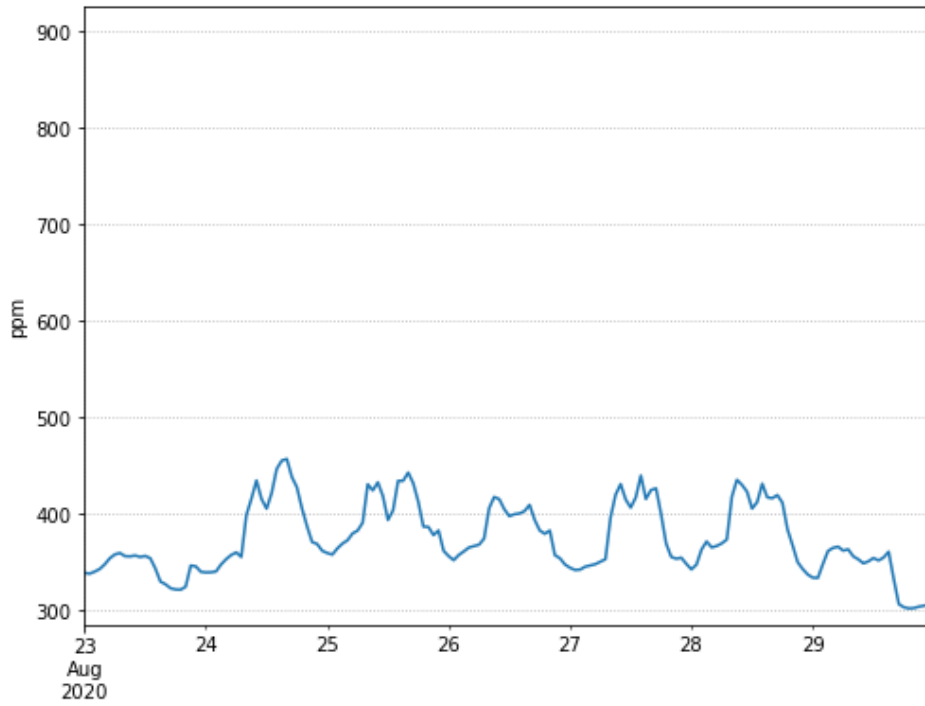


図 3.2-52 (事務室 1、8月)週間二酸化炭素濃度

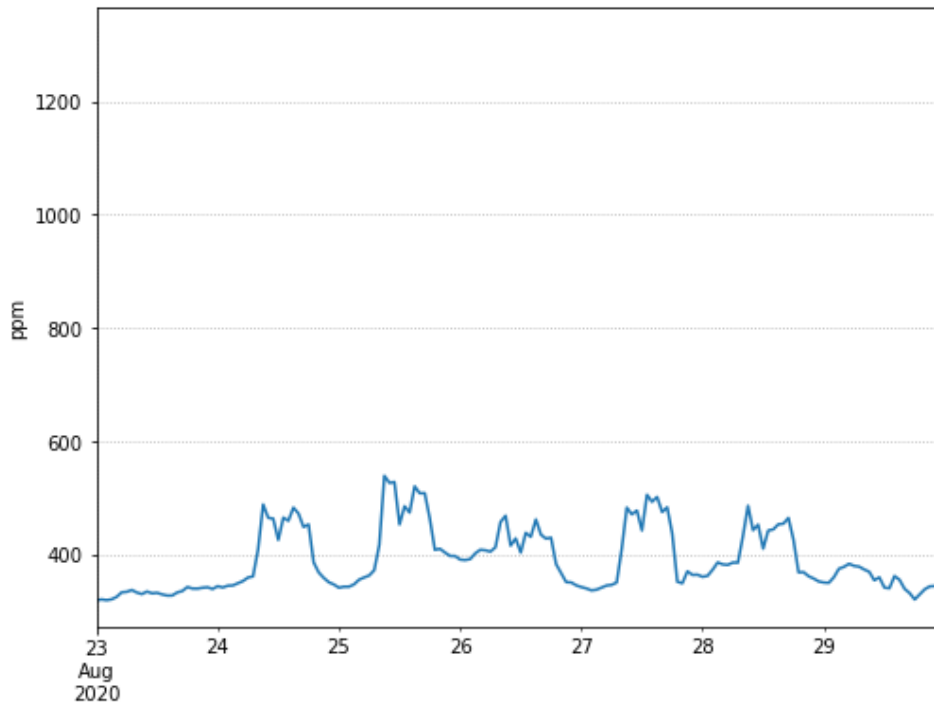


図 3.2-53 週間二酸化炭素濃度(事務室 2、8月)

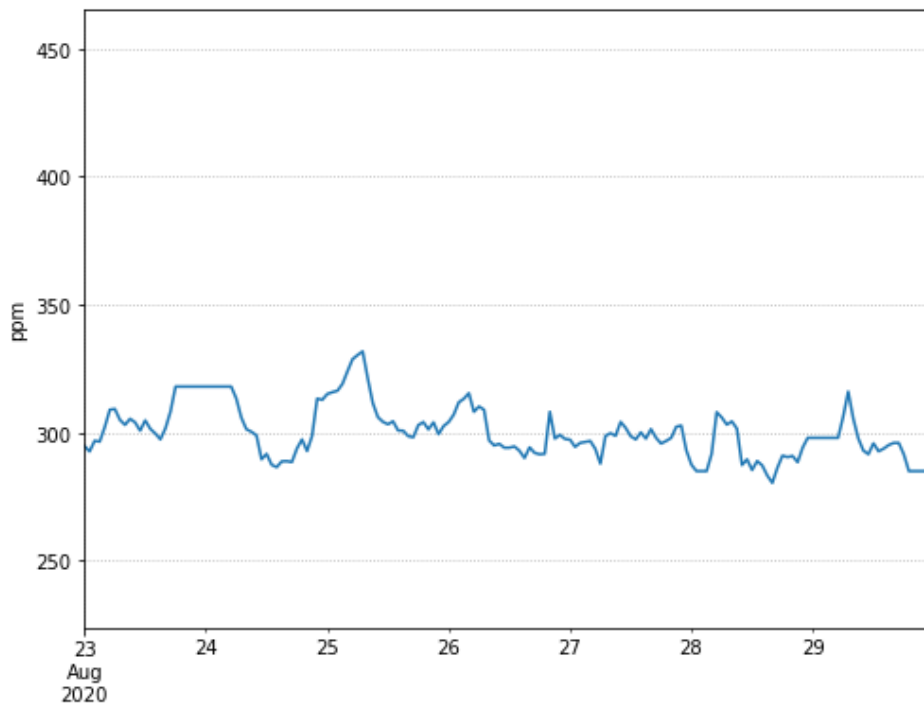


図 3.2-54 代表週外気二酸化炭素濃度(8月)

3.2.4 日データ

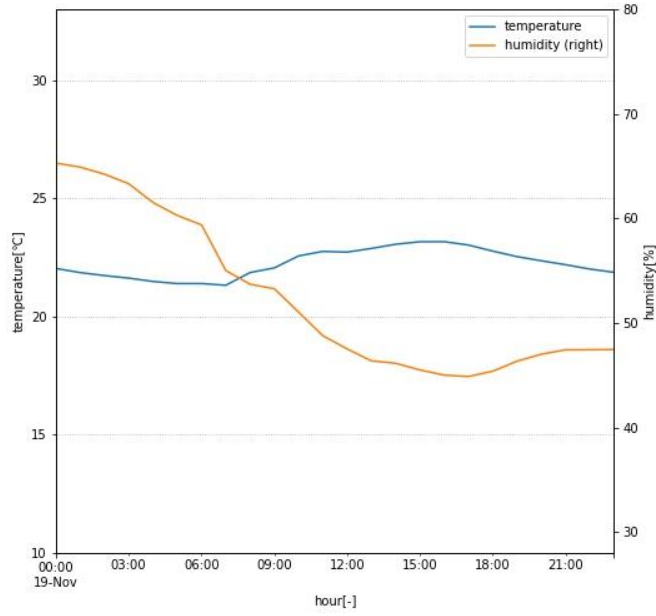


図 3.2-55 代表日室内温度、湿度(事務室 1、11 月)

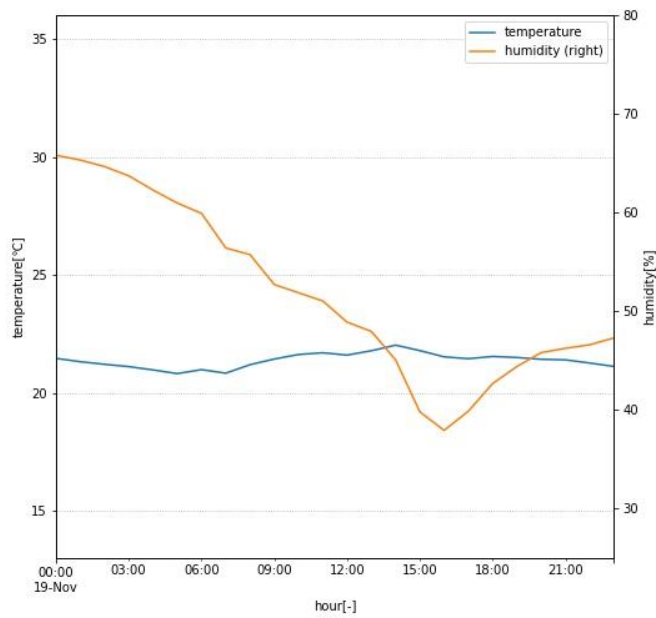


図 3.2-56 代表日室内温度、湿度(事務室 2、11 月)

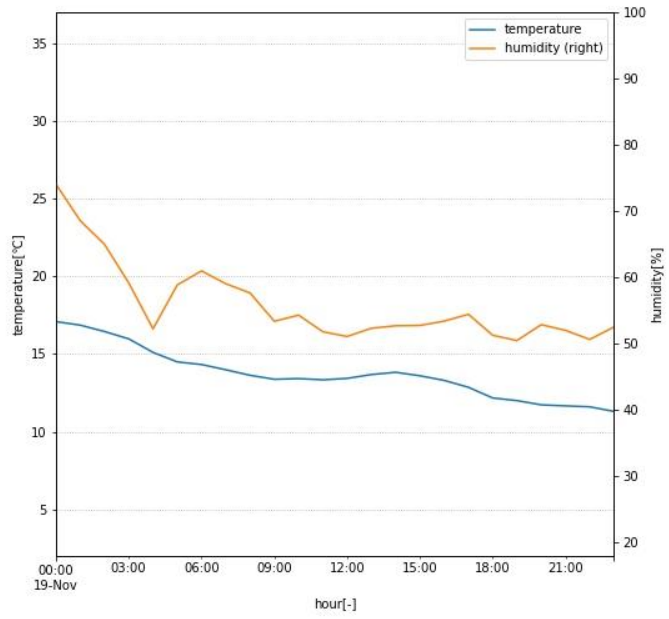


图 3.2-57 代表日外気温度、湿度(11月)

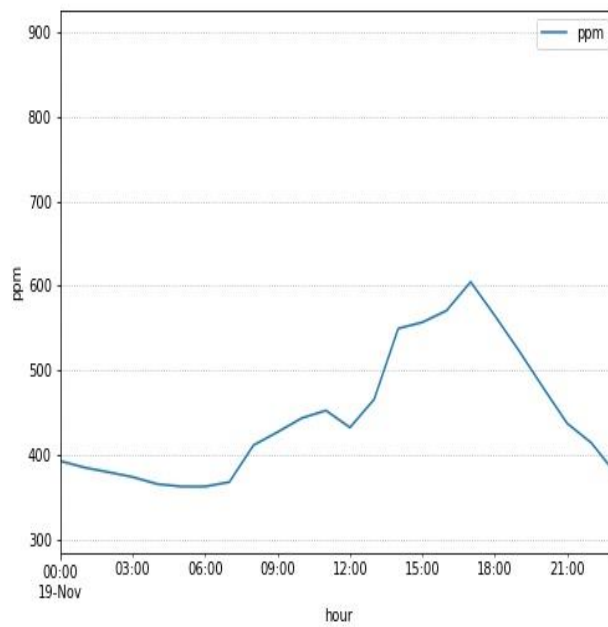


图 3.2-58 代表日二酸化炭素濃度(事務室1、11月)

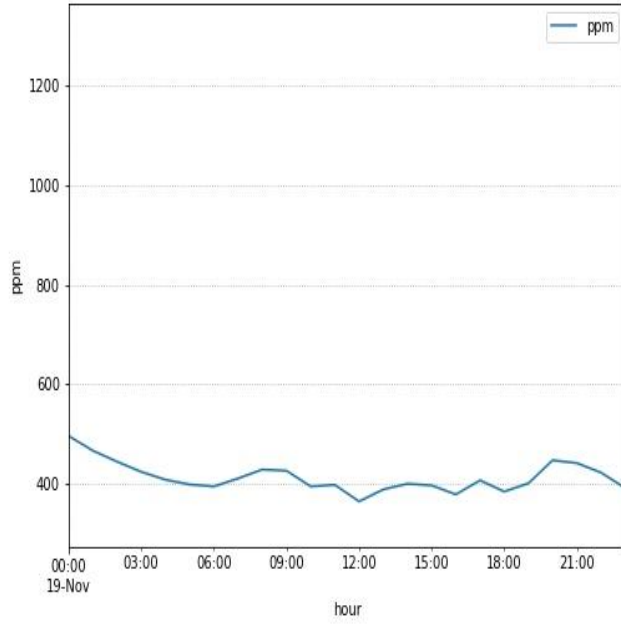


图 3.2-59 代表日二酸化炭素濃度(事務室 2、11 月)

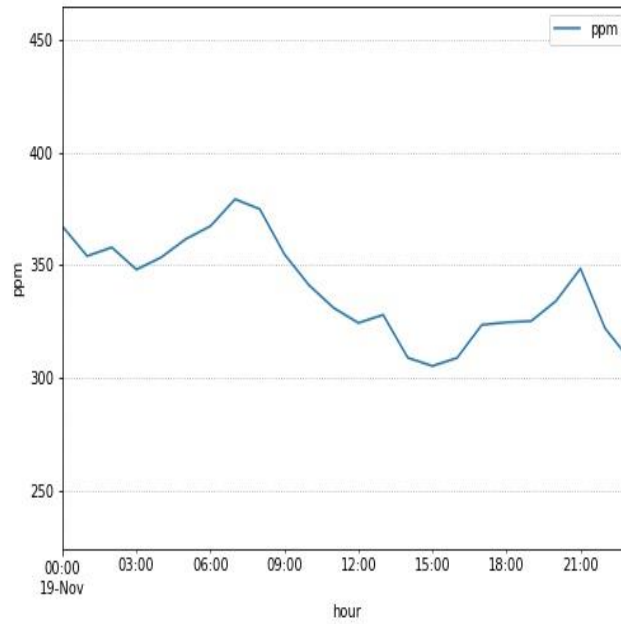


图 3.2-60 代表日外気二酸化炭素濃度(11 月)

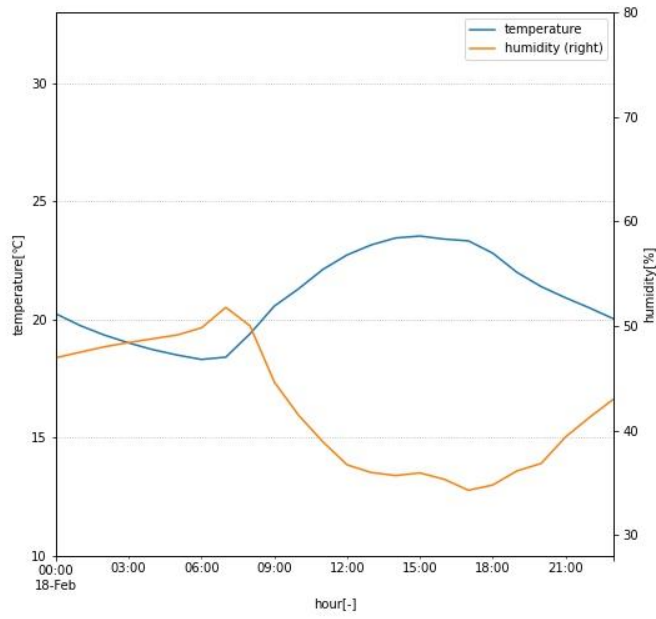


图 3.2-61 代表日室内温度、湿度(事務室 1、2 月)

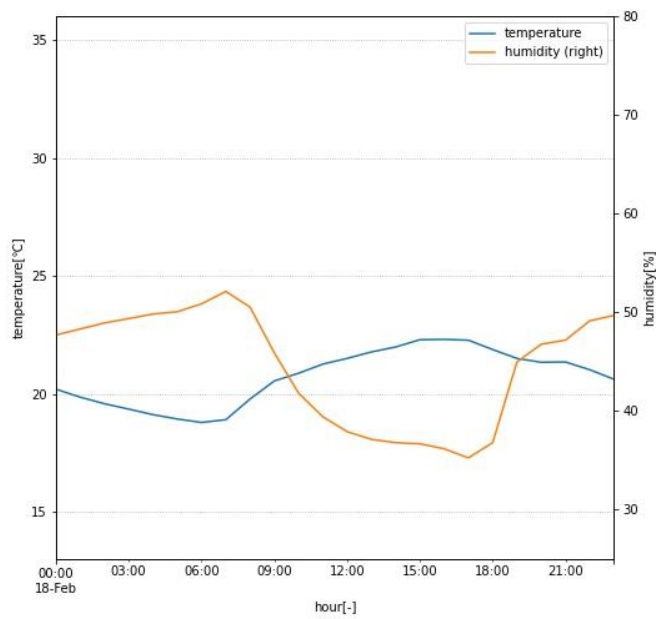


图 3.2-62 代表日室内温度、湿度(事務室 2、2 月)

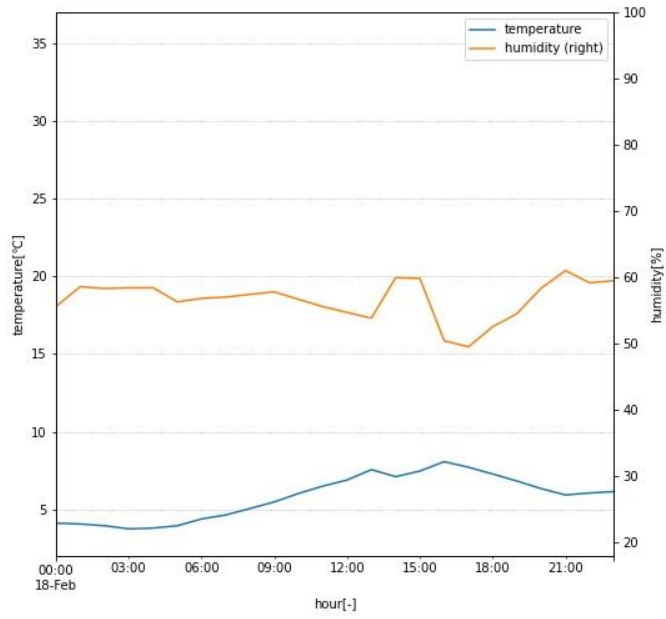


图 3.2-63 代表日外氣温度、湿度(2月)

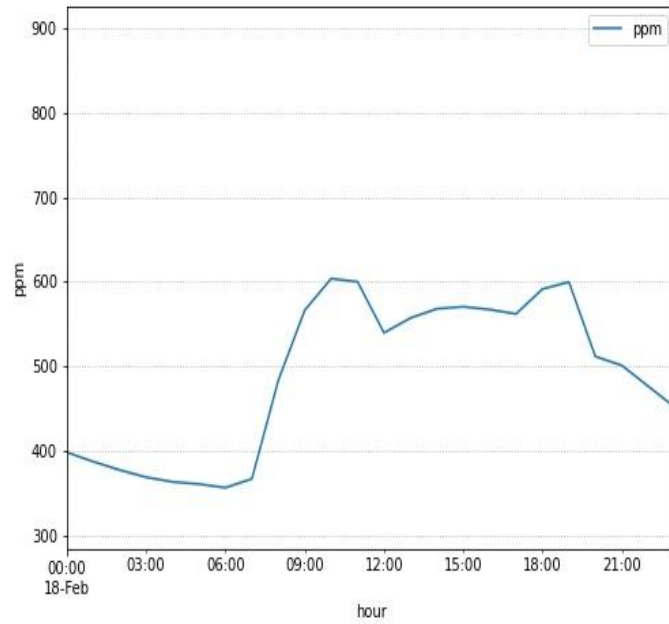


图 3.2-64 代表日二酸化炭素濃度(事務室 1、2月)

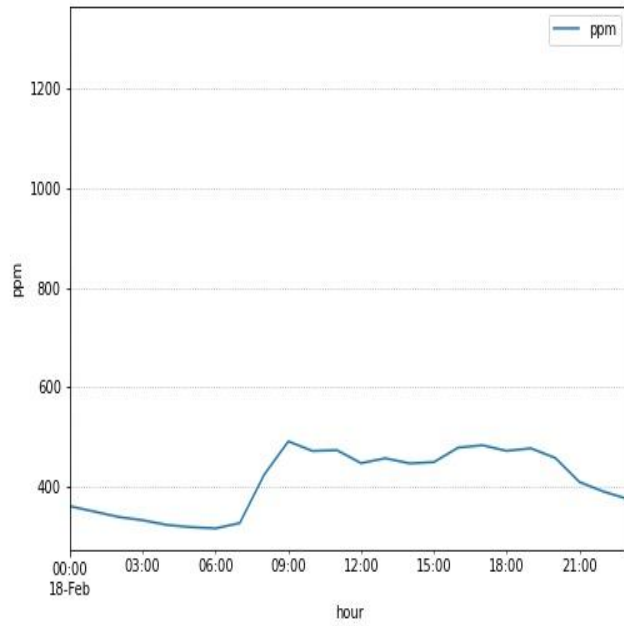


图 3.2-65 代表日二酸化炭素濃度(事務室 2、2 月)

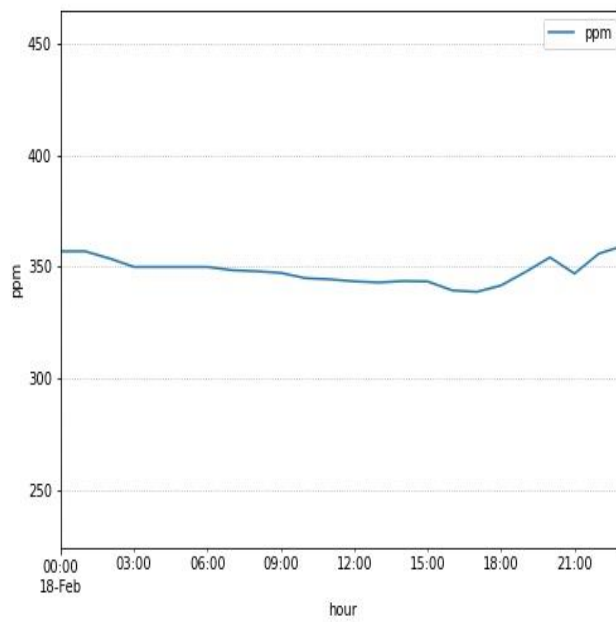


图 3.2-65 代表日外気 二酸化炭素濃度(2 月)

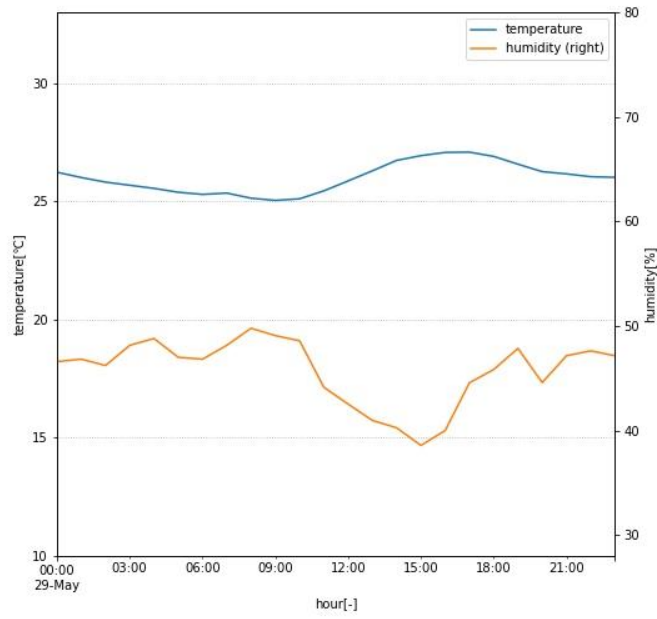


图 3.2-46 代表日室内温度、湿度(事務室 1、5月)

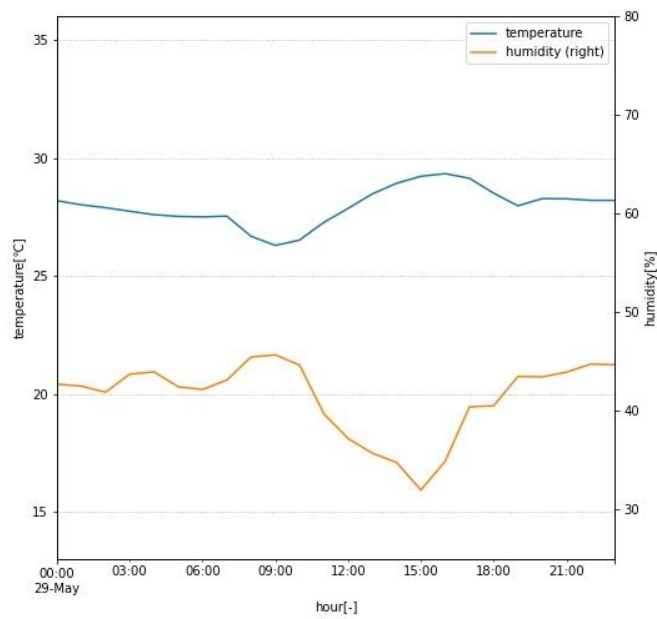


图 3.2-46 代表日室内温度、湿度(事務室 2、5月)

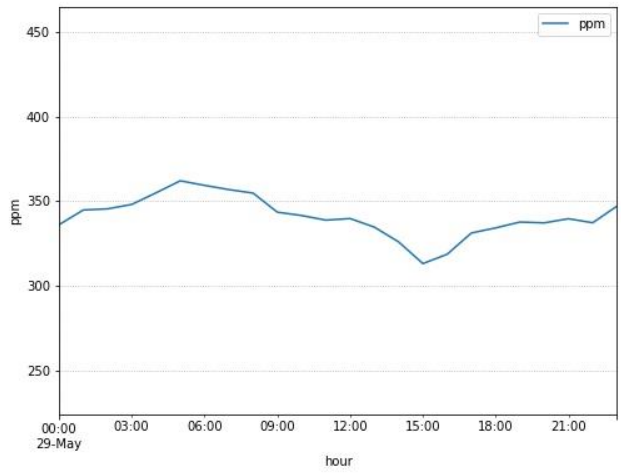


图 3.2-45 代表日外氣温度、湿度(5月)

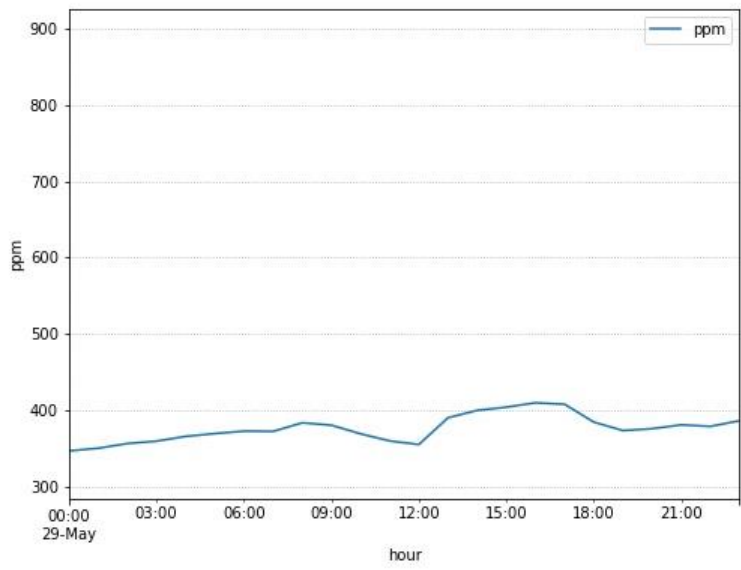


图 3.2-45 代表日二酸化炭素濃度(事務室 1、5月)

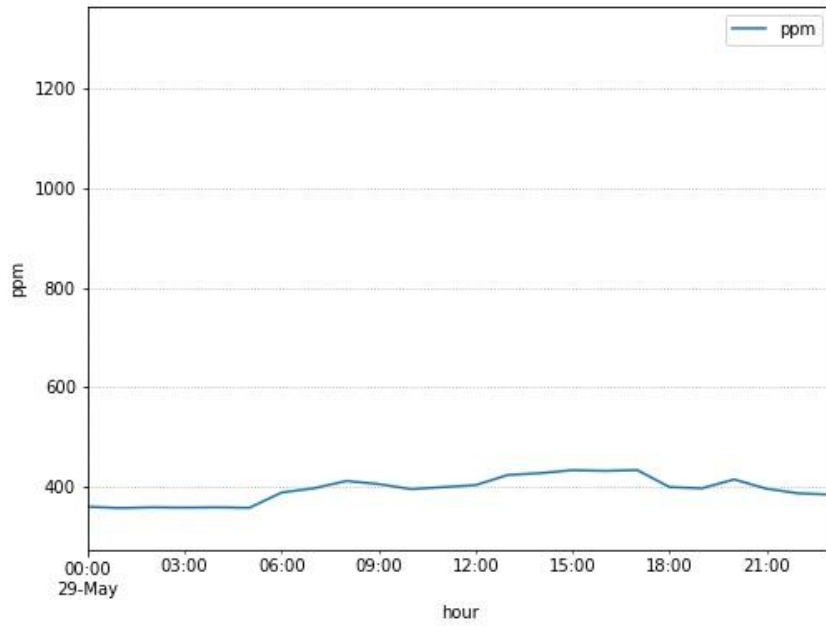


图 3.2-45 代表日二酸化炭素濃度(事務室 2、5月)

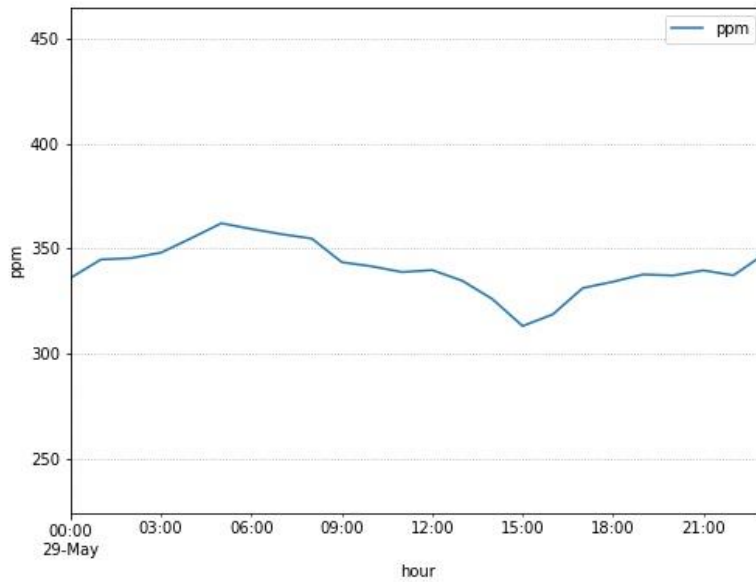


图 3.2-45 代表日外気二酸化炭素濃度(5月)

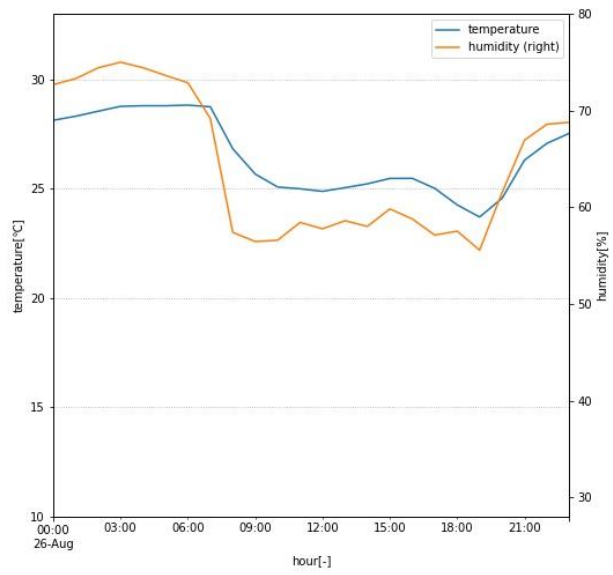


图 3.2-28 代表日室内温度湿度(事務室 1、8月)

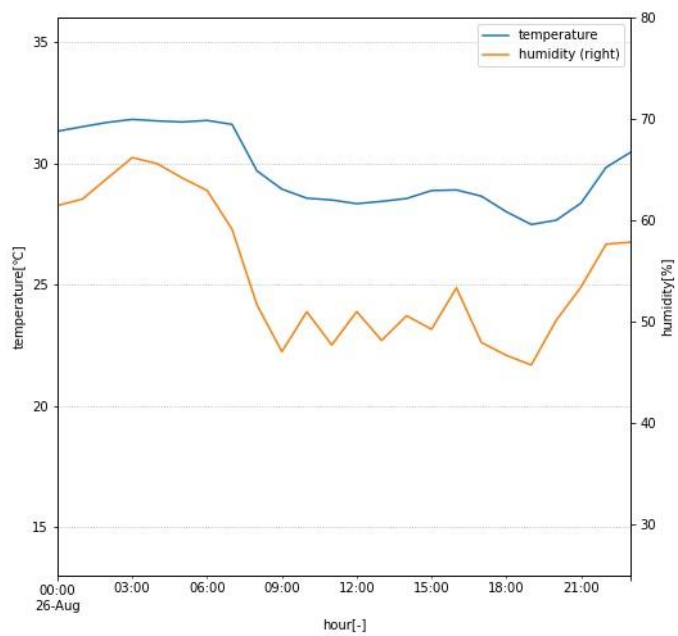


图 3.2-28 代表日室内温度湿度(事務室 2、8月)

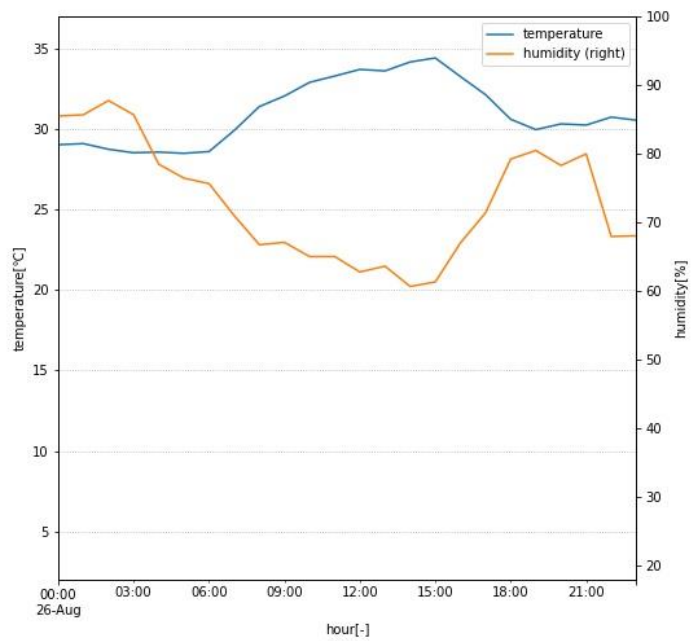


图 3.2-28 代表日外氣温度湿度(8月)

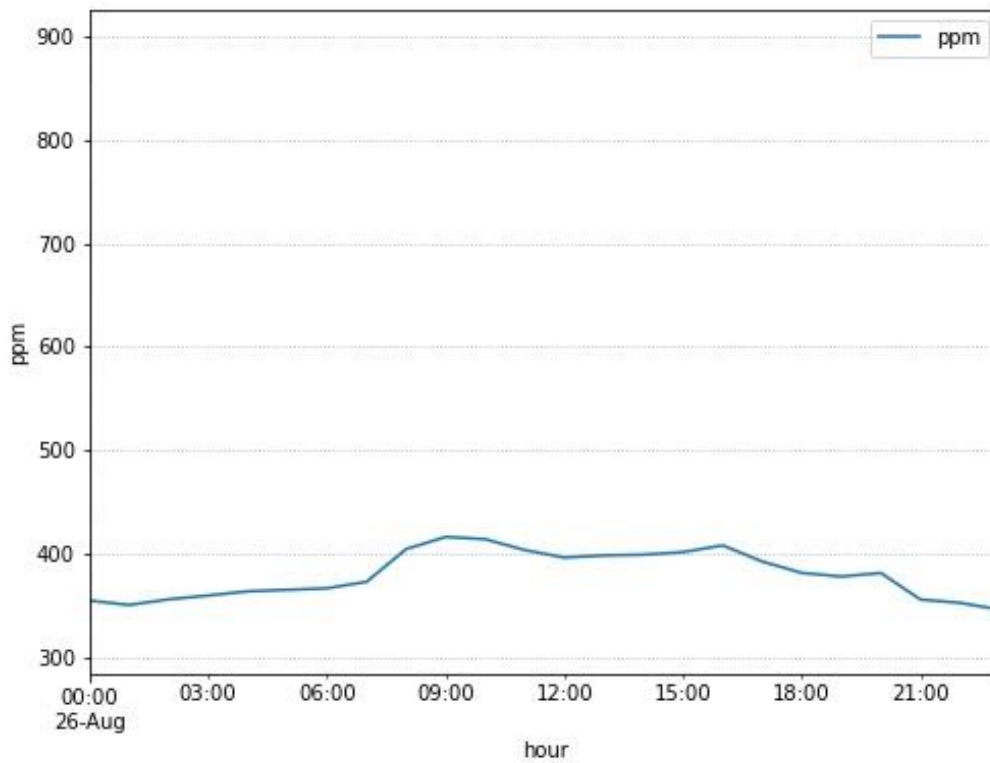


图 3.2-28 代表日二酸化炭素濃度(事務所 1、8月)

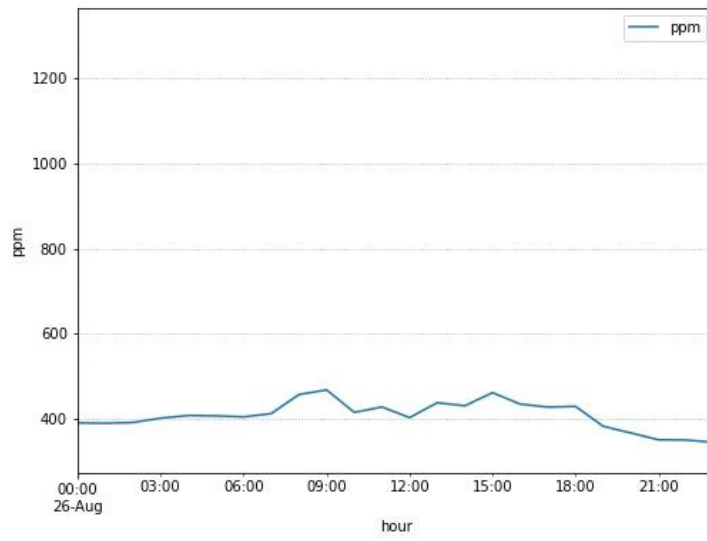


图 3. 2-28 代表日二酸化炭素濃度(事務所 2、8月)

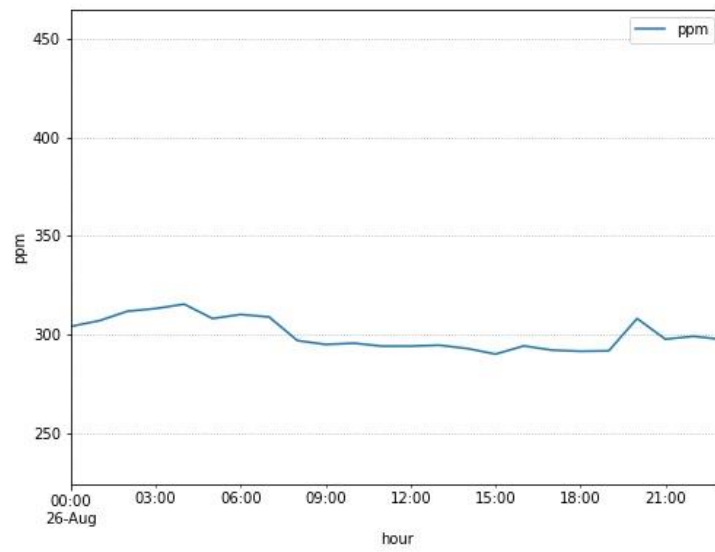


图 3. 2-28 代表日外気二酸化炭素濃度(8月)

3.3 全熱交換器の評価

本節では換気システムである全熱交換器の評価を行う。全熱交換器（HEX）は外気を取り込み、室内から吸い込んだ空気と熱交換させることで外気負荷を処理した後に室内に外気を供給する機器である。そのため、室内に直接外気を取り込むよりも空調負荷が減らすことが可能である。図 3.3-1 に、全熱交換器における空気の流れなどを示す。

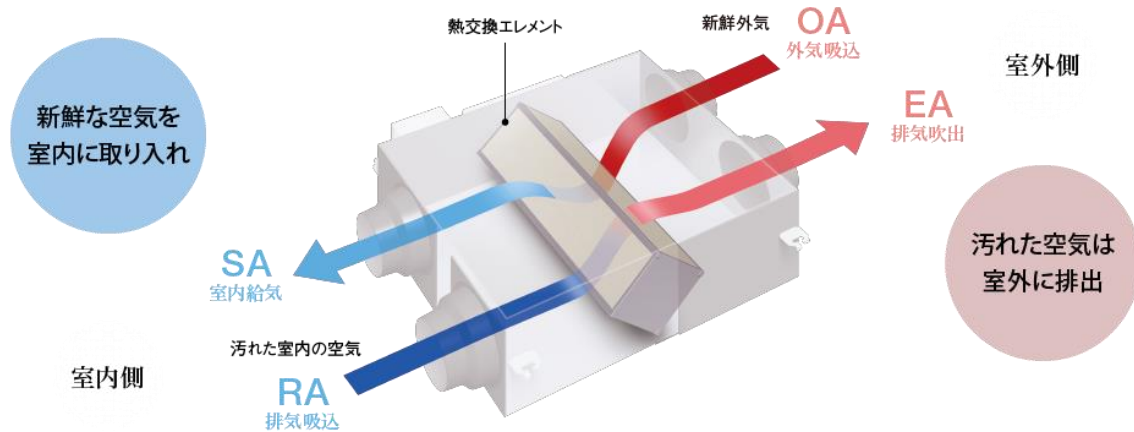


図 3.3-1 全熱交換器における空気のフロー [11]

また、対象建物ではアースチューブを介して地中熱を活用している。図 3.3-2 にアースチューブと全熱交換器の関係を示す。これは取り入れた外気に対して地中熱を利用し外気負荷を低減した後、全熱交換器に OA として供給される。これにより、入口空気のエンタルピーの増減が可能となり、空調負荷の削減が図られる。また、同図より対象建物では蓄熱壁にも同様に地中熱を活用し、暖房期、冷房期の早朝に地中熱ヒートポンプを運転させることで空調負荷の削減を図っている。

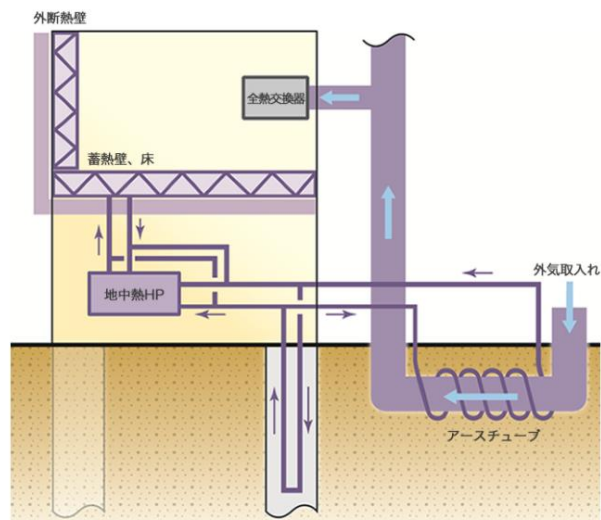


図 3.3-2 アースチューブと全熱交換器の関係 [12]

本実測では対象全熱交換器の外気吸込 (OA)、室内給気 (SOA)、排気吸込 (RA)、排気吹出 (EA) の温度、絶対湿度、風量を計測している。温度、絶対湿度から空気線図を活用し比エンタルピを算出した。図 3.3-3~5 に、2020 年 9 月 7 日から 9 月 11 日までを対象とした温度、絶対湿度、比エンタルピの推移を示す。HEX1 は対象建物北側、HEX2、3 は南側の全熱交換器である。また、青色で網掛けされている時間帯は全熱交換器が OFF であった時間帯である。

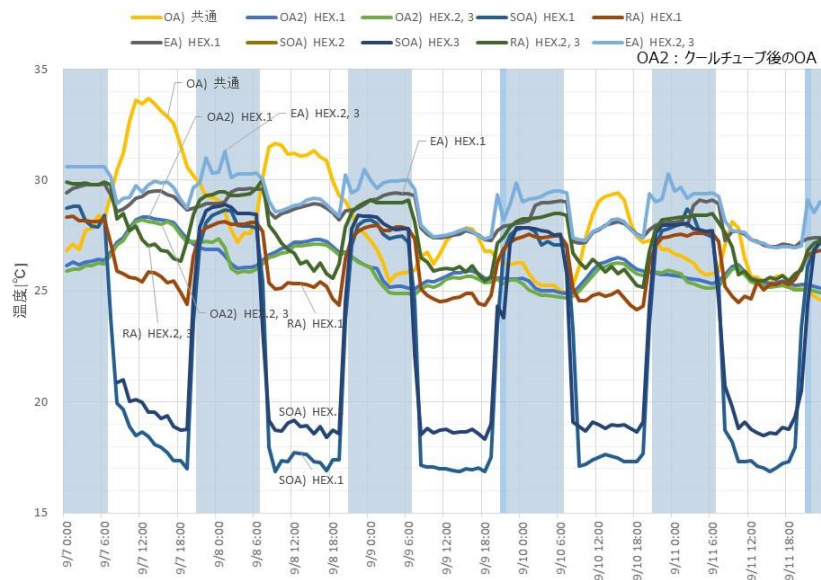


図 3.3-3 諸全熱交換器での温度推移

図 3.3-3 から地中熱を利用することでアースチューブ取込み外気温度 (OA) が全熱交換器の外気吸込み温度 (OA2) では 2~3°C 程度低下していることが明らかである。

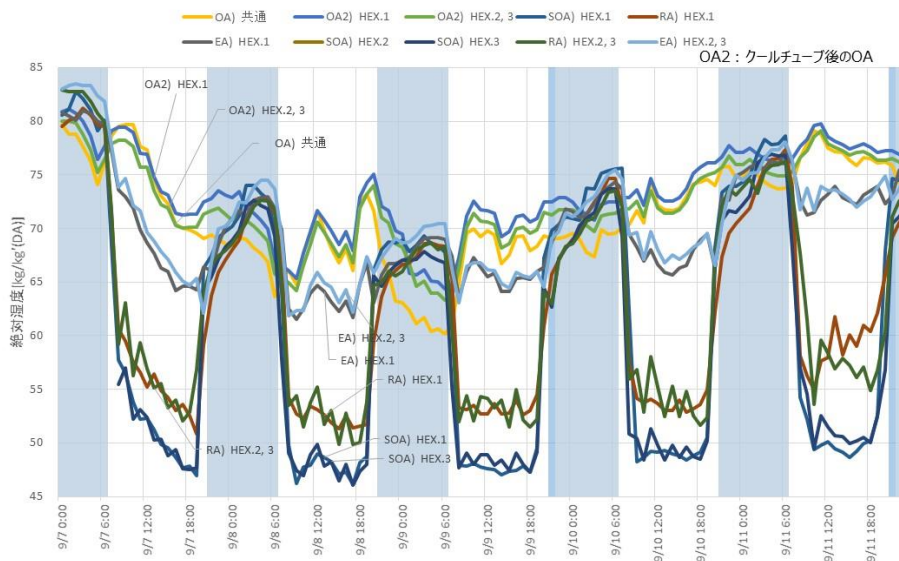


図 3.3-4 全熱交換器での絶対湿度の推移

図 3.3-4 から絶対湿度では OA と OA2 ではほぼ変化していないことがわかる。

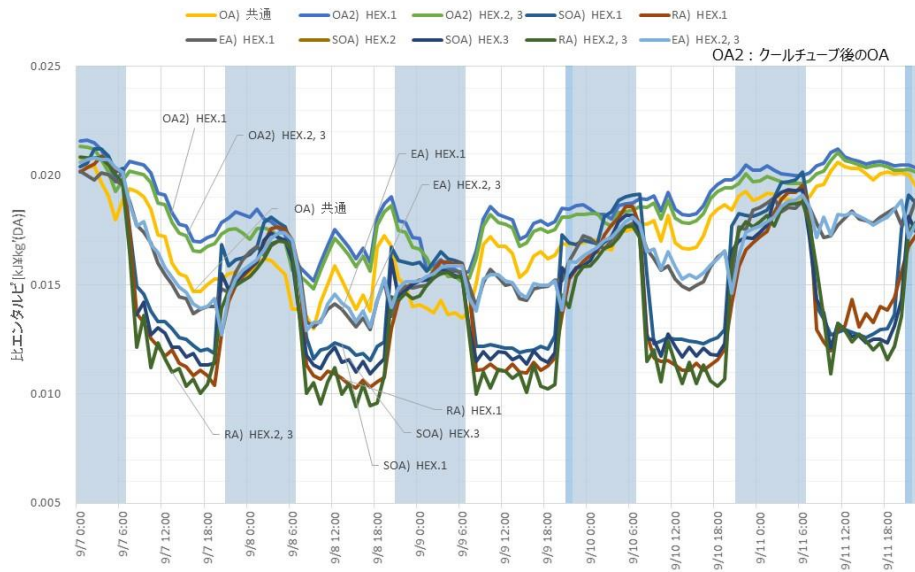


図 3.3-5 全熱交換器での比エンタルピの推移

図 3.3-5 の比エンタルピは、温度と絶対湿度から算出されたものである。地中熱を利用することで外気の比エンタルピが上昇する。これにより、全熱交換器の交換熱量が上昇し空調負荷削減への寄与が大となる。

全熱交換器の外気吸込 (OA2) と室内給気 (SOA)、もしくは排気吸込 (RA)、排気吹出 (EA) の比エンタルピ差[kJ/kg]に風量[CMH]と標準状態の空気の密度[kg/m³]を乗じ、単位時間[h]で除することで全熱交換器の交換熱量が算出される。図 3.3-6 に、HEX1 と HEX3 での外気吸込と室内給気の交換熱量の推移を、図 3.3-7 に同様に排気吸込、排気吹出の推移を示す。ここで、プロットのない箇所は同器が停止中であることを示す。表 3.3-1 に外気吸込と室内給気の平均値、最大値および最小値を示す。

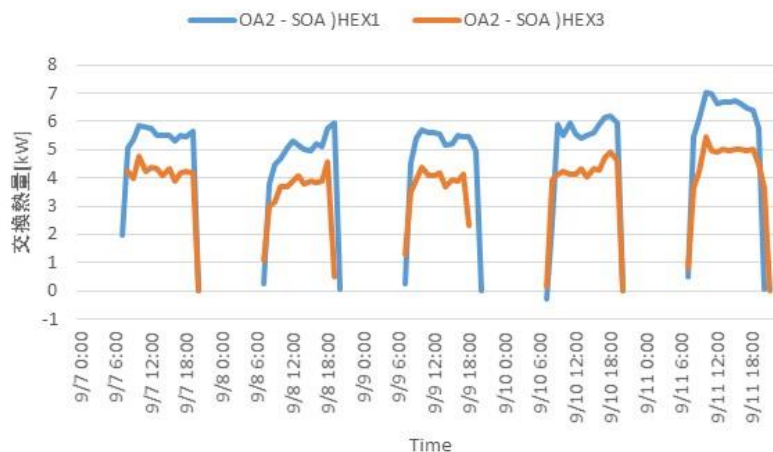


図 3.3-6 外気吸込と室内給気の交換熱量

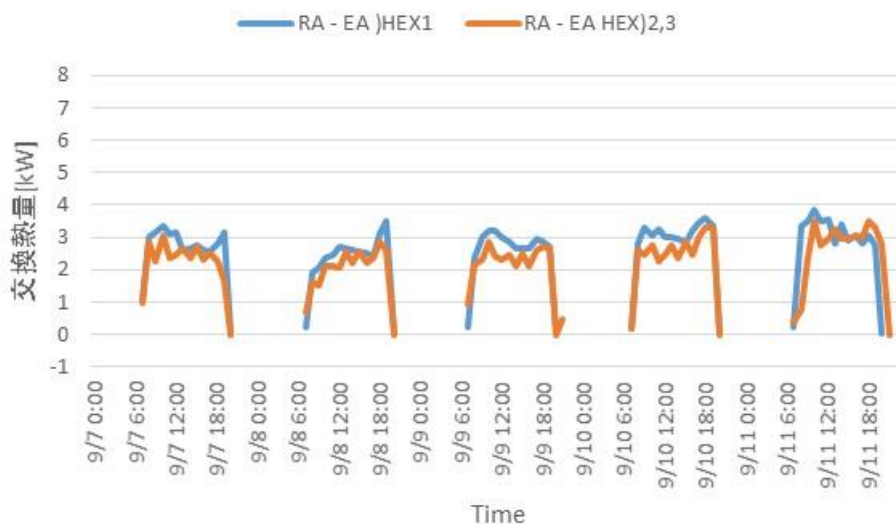


図 3.3-7 排気吸込と排気吹出の交換熱量推移

表 3.3-1 外気吸込と室内給気の平均値と最大値

	OA2 - SOA)HEX1	OA2 - SOA)HEX3	RA - EA)HEX1	RA - EA HEX)2,3
平均実測交換熱量[kW]	4.82	3.75	2.55	2.21
最大値[kW]	7.04	5.43	3.85	3.49
最小値[kW]	-0.281	0.019	0.014	-0.006

図 3.3-6、7 から OA2-SOA 側での平均での交換熱量が RA-EA 側と比較して 2 倍程度大きい。OA2-SOA 側の最大値が 7.04kW であり、カタログ値の交換熱量が 4.83kW と比較して実測での交換熱量が高いことがわかる。これは地中熱の利用による外気吸込 (OA2) の比エンタルピの上昇が寄与しているためである。

図 3.3-8 に、交換熱量の相対頻度を示す。稼動直後の 1 時間の交換熱量が小さいため 1kW での頻度が高いが、OA2-SOA 側では高い交換熱量での頻度も高いと確認される。

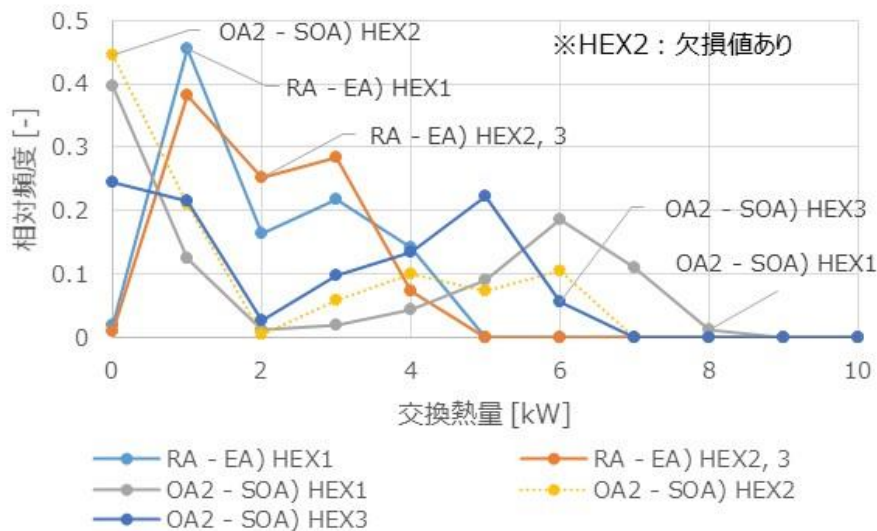


図 3.3-8 各交換熱量の相対頻度

3.4 空調システムの最適運転効率の検討

本節では、空調・換気システムの消費電力から負荷分担の実態を把握し、エネルギー消費量削減のための空調・換気システムの協調制御の検討を行う。

3.1節での対象建物における年間・月・代表日・時間別での部門別消費特性の実態把握から、エネルギーの消費先では空調・換気部門の割合が顕著であることを示した。表 3.4-1 に、各代表日における部門別エネルギー消費量を示す。表 3.4-1 から、空調部門における単位面積当たりの消費エネルギー量は、暖房期（2019年2月）および冷房期（2020年8月）でそれぞれ 0.865MJ、2.24MJ となり、中間期の 0.3MJ 程度と比較して相当に大きい。一方、換気部門では全体に寄与する値は小さいが、新型コロナウイルス感染拡大防止のために 2020年4月以降の風量の増加が認められる。また、定量的評価は行っていないが、対象建物での対策の一つである定期的な窓開けなどの自然換気を積極的に行った結果、冷房期（2020年8月）での空調部門のエネルギー消費量の拡大を招いたものとする。

表 3.4-1 各代表日における部門別エネルギー消費量

	空調[MJ/m ²]	換気[MJ/m ²]	照明[MJ/m ²]	給湯[MJ/m ²]	ELV[MJ/m ²]	太陽光[MJ/m ²]
2019/11/19	0.31	0.07	0.20	0.03	0.03	-0.78
2020/2/18	0.87	0.09	0.18	0.04	0.03	-1.43
2020/5/29	0.24	0.16	0.18	0.03	0.03	-2.90
2020/8/26	2.24	0.16	0.20	0.02	0.03	-1.43

図 3.4-1 に各代表日の外気温度推移、図 3.4-4~5 に各代表日における外気温度と空調・換気部門のエネルギー消費量の関係を示す。

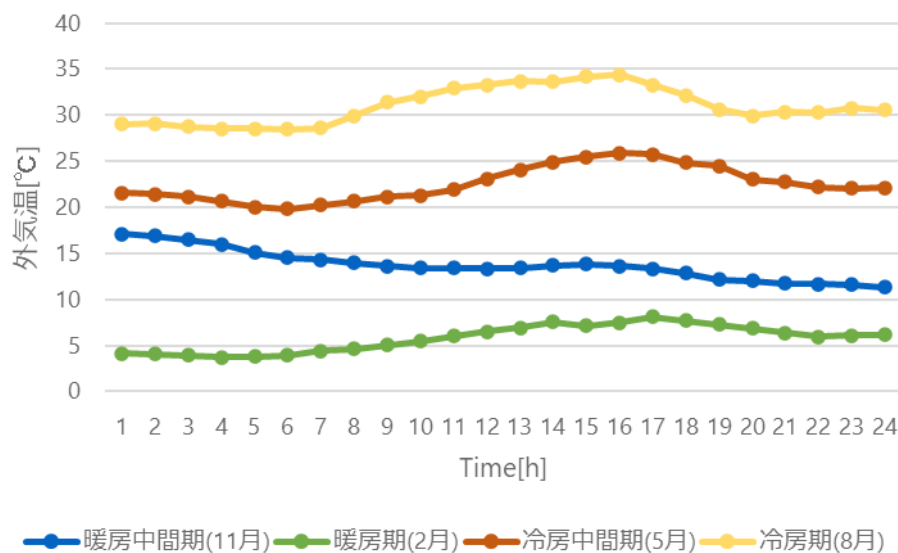


図 3.4-1 代表日における外気温度の推移

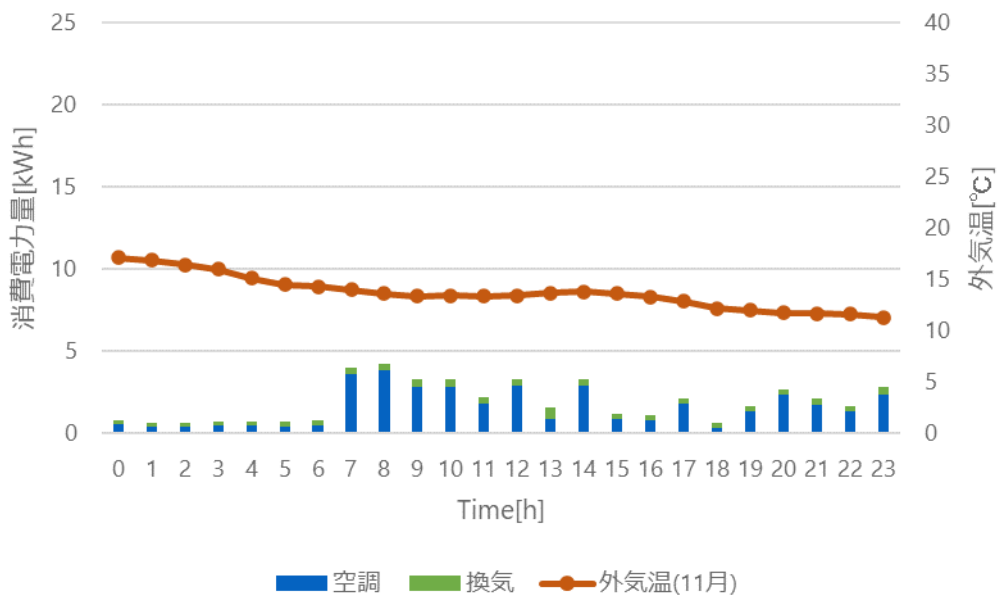


図 3.4-2 外気温と空調・換気の関係(11月)

図 3.4-2 から暖房中間期代表日の平均外気温は 15°C 近傍であり、1 時間当たりの空調部門のエネルギー消費量は、7 時～8 時台の出勤時を除いて、最大でも 5kWh 以下と小さい。これは、起動時での室内空調負荷が高く、また、空調機の立ち上げ時におけるラッシュカレントによるものである。

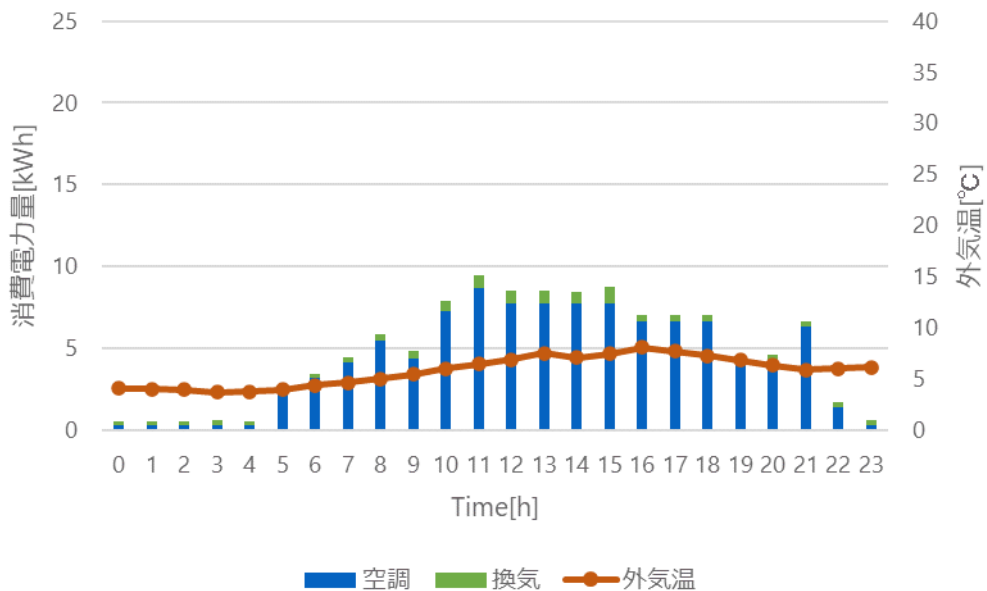


図 3.4-3 外気温と空調・換気の関係(2月)

図 3.4-3 から暖房期での空調部門の消費量は、暖房中間期と比較して常に 2 倍程度であり、また、夜間での空調部門の消費量が大きく削減の余地があると考ええる。一方、換気部門では、中間期とほぼ同等程度である。

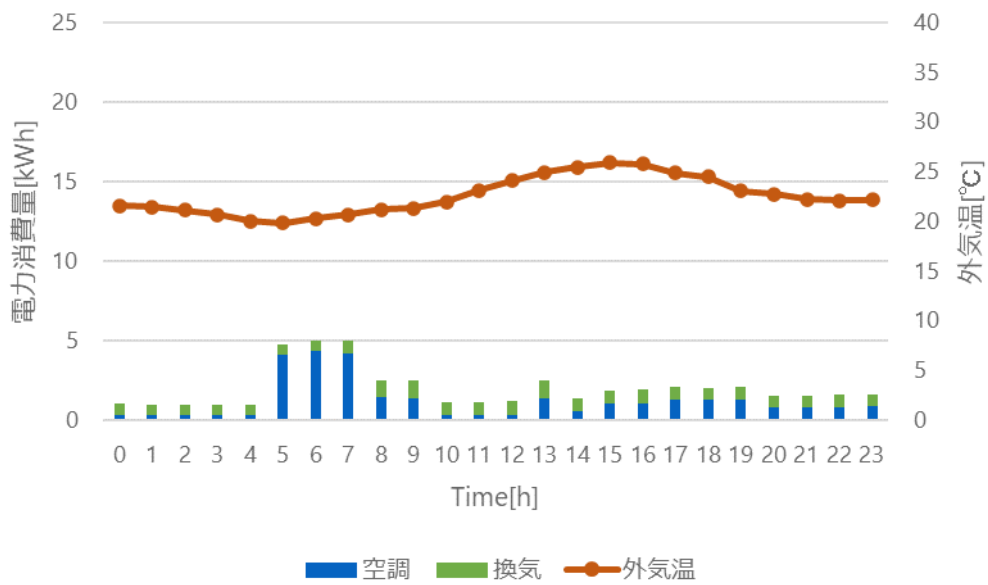


図 3.4-4 外気温と空調・換気の関係 (5月)

図 3.4-4 から、冷房中間期では外気温が 25°C 前後であり、空調部門の消費量は著しく小さい。しかし、表 3.4-1 から明らかなように、換気部門では暖房中間期および暖房期と比較して常に高い消費量を示す。これは、新型コロナウイルス感染拡大防止のため、意識的に換気量が増えるものの、絶対的な冷房負荷が小さいことに起因する。

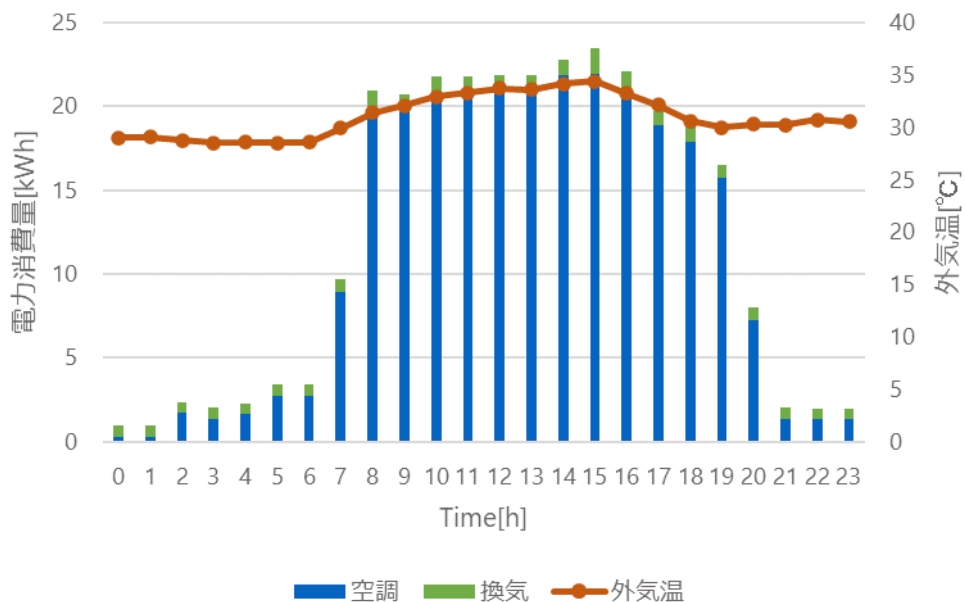


図 3.4-5 冷房期の外気温と空調・換気の関係 (8月)

図 3.4-5 から外気温の上昇に伴い、日中時間帯の空調部門の消費量が著しく高い。また、代

表日は3.1節に前述のように、建物内のエネルギー消費量が太陽光発電量を上回り、ZEBが未達成となる。

図3.4-6に、冷房代表日における時刻別の空調機負荷率を示す。同図から、今回のモデルでは、高負荷となる日中の時間帯での負荷率が1.0を超える。しかし、対象建物ではZEB達成のために地中熱ヒートポンプを有しており、冬季の予熱にのみ利用している。夏季の予冷にも地中熱ヒートポンプを使用することで冷房期の空調負荷を抑えることができ、空調機の省エネ化を図ることが可能と考えられる。

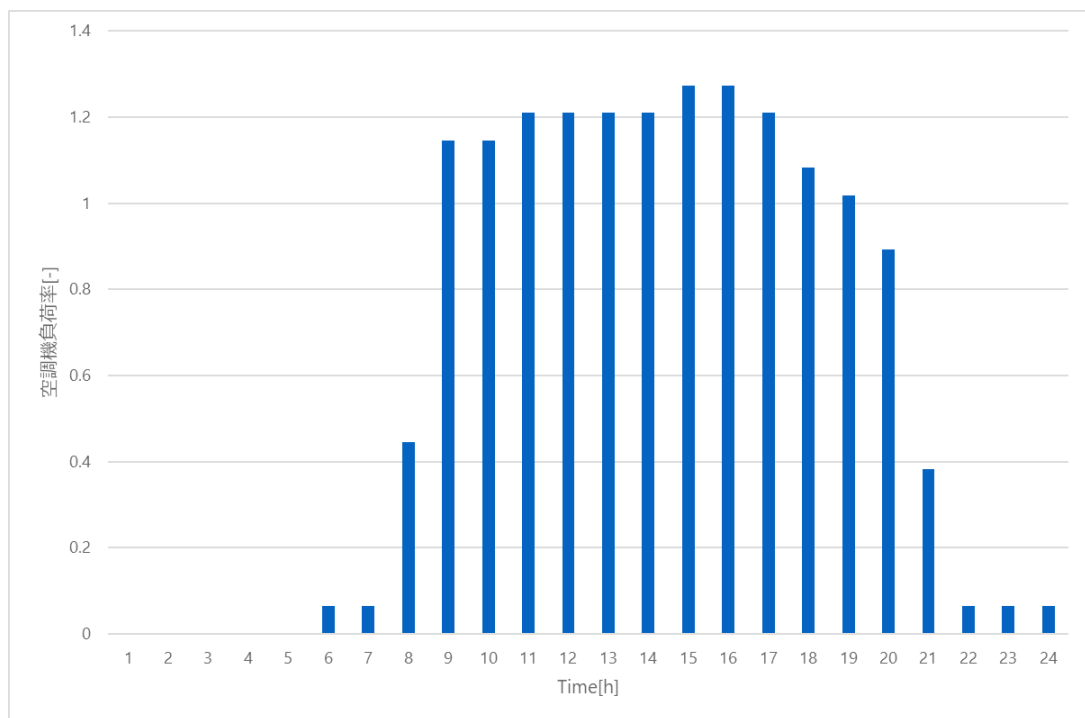


図 3.4-6 時刻別の空調機負荷率（冷房期）

3.5 ビルマルチ空調機のモデル化

このような現状から、冷房期における空調部門の消費量が高く改善の余地がある。一般的な建物では空調機と全熱交換器の負荷分担を適切に制御できず、エネルギーロスが検出される事例が多くある。そのため、以下では空調機の室外機実消費電力を定格消費電力で除し、空調機の負荷率を算出する。

$$\text{負荷率} = \text{室外機の実消費電力} / \text{室外機定格消費電力}$$

負率が高いほど空調機器の効率は上昇するが、圧縮機の構造上、0.9以上の高負荷では圧縮機の体積効率値が低下し、投入エネルギーに対する出力エネルギーを示すCOP値が低下する。図3.5-1~3は、研究の対象機器とほぼ同様の特性を有するEHP空調機の実測データをベースとして作成した機器モデルである。図3.4-6からCOP値が最大となる負荷率は、0.8近傍であり、この領域での空調機運転時間の長期化が、消費エネルギーの削減に貢献する。

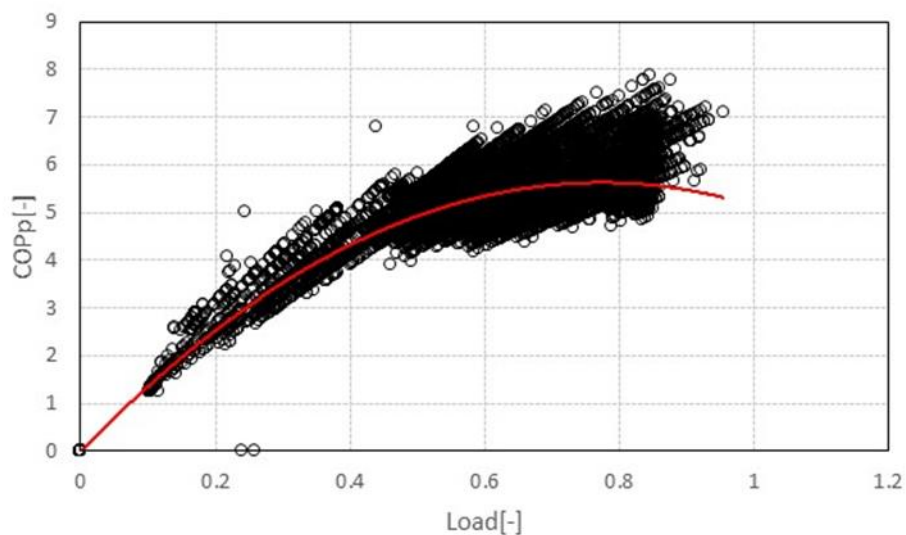


図 3.5-1 本論文でのビルマルチ空調機の効率特性モデル

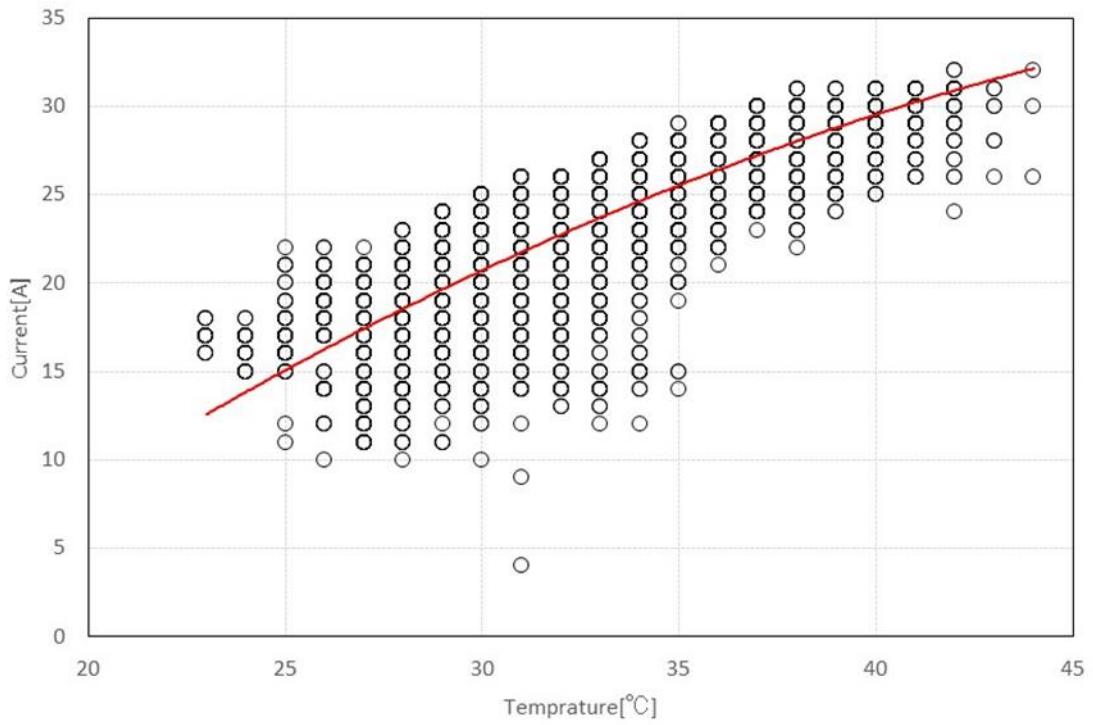


図 3.5-2 本論文でのビルマルチ空調機の室外機熱交換温度と電流値特性モデル

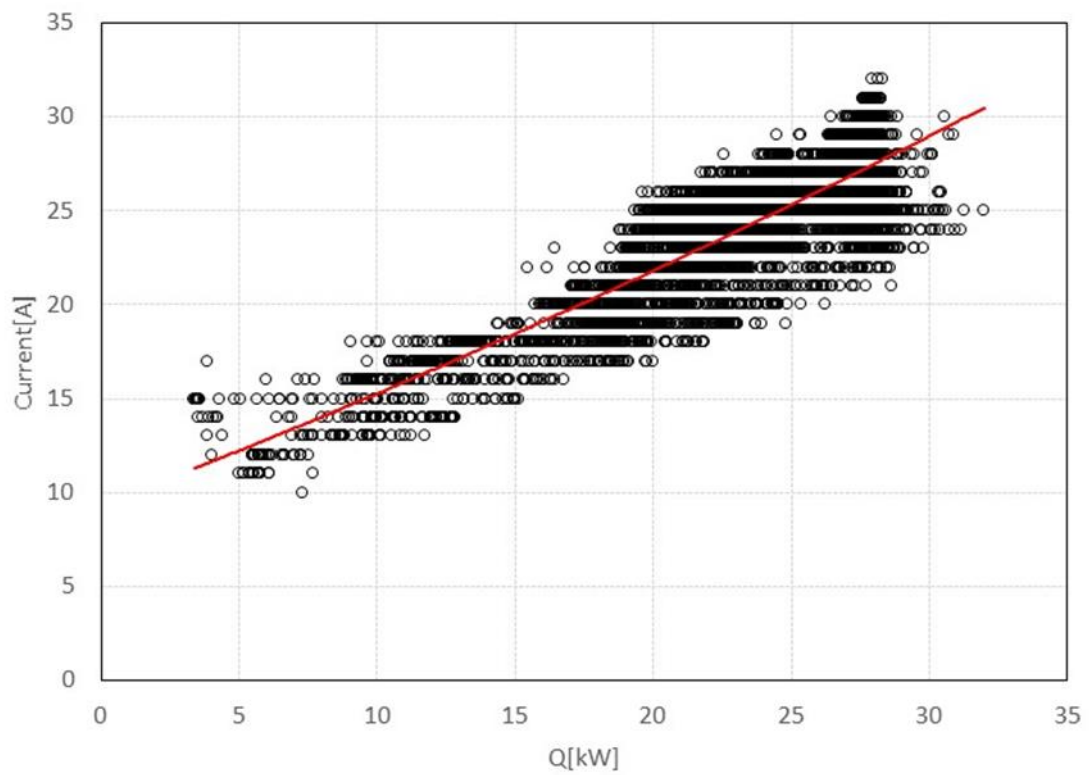


図 3.5-3 本論文でのビルマルチ空調機の空調負荷と電流値特性モデル

第4章 各構成要素での削減ポテンシャル

4.1 換気システム

3.2節にて過度な外気導入量が認められる。そこで適切な換気量にした場合の全熱交換器の消費エネルギーの削減ポテンシャルを検討した。

図4.1-1に2020年9月における事務室(1,2)に設置されている全熱交換器(HEX1,2,3)の換気量の推移を示す。図中に建築物衛生法に基づく必要換気量を赤線で示した。

図からも明らかなように事務室における換気量は、必要量の約3倍の換気を行なわれており、明らかな過剰換気が常態化している。

また、表4.1-1に該当全熱交換器の諸元を示す。本建物での必要換気量を考慮すると、現状の稼働台数は必要ではなく、相当台数の任意停止または吹き出し風量の大幅削減でも換気量は十分に担保でき、本機関連の消費エネルギーの削減が可能となる。

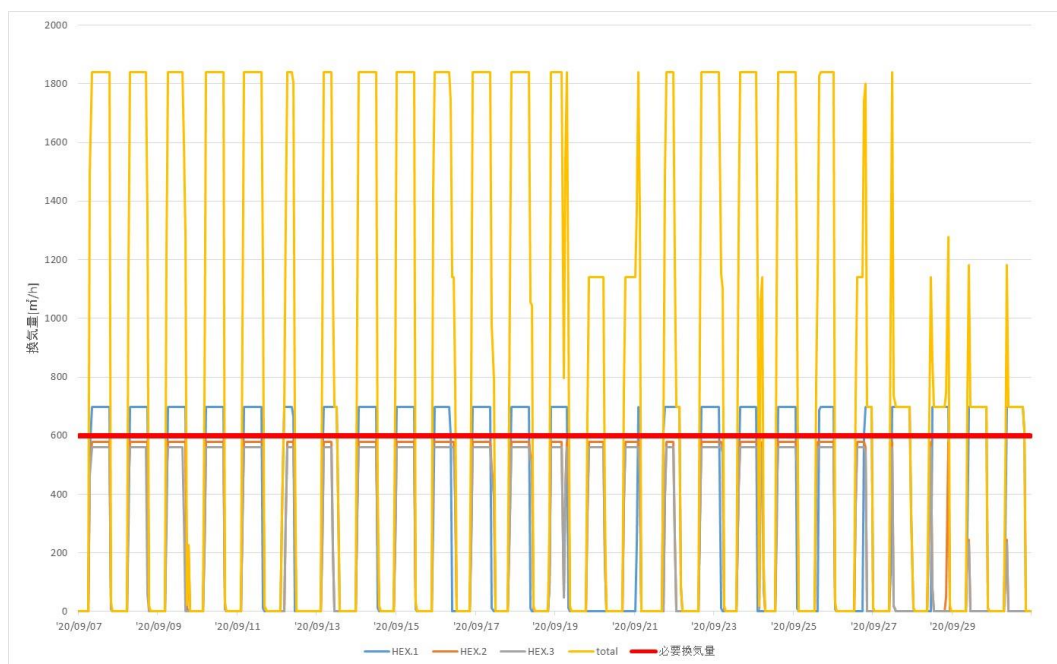


図 4.1-1 換気量

表 4.1-1 全熱交換器(VKMP50HM)の諸元

ノッチ	特強	強	弱
風量[m³/h]	500	500	390
消費電力[W]	655	570	440

図 4.1-2 に 9 月における全熱交換器の稼働台数を事務室 1 および 2 の一台ずつ、合計 2 台に絞った場合の電力消費量の変化を示す。なお、3.4 節から、2020 年 1 月から継続して行われていると推察されるため、年間を通じての削減ポテンシャルは非常に高いといえる。

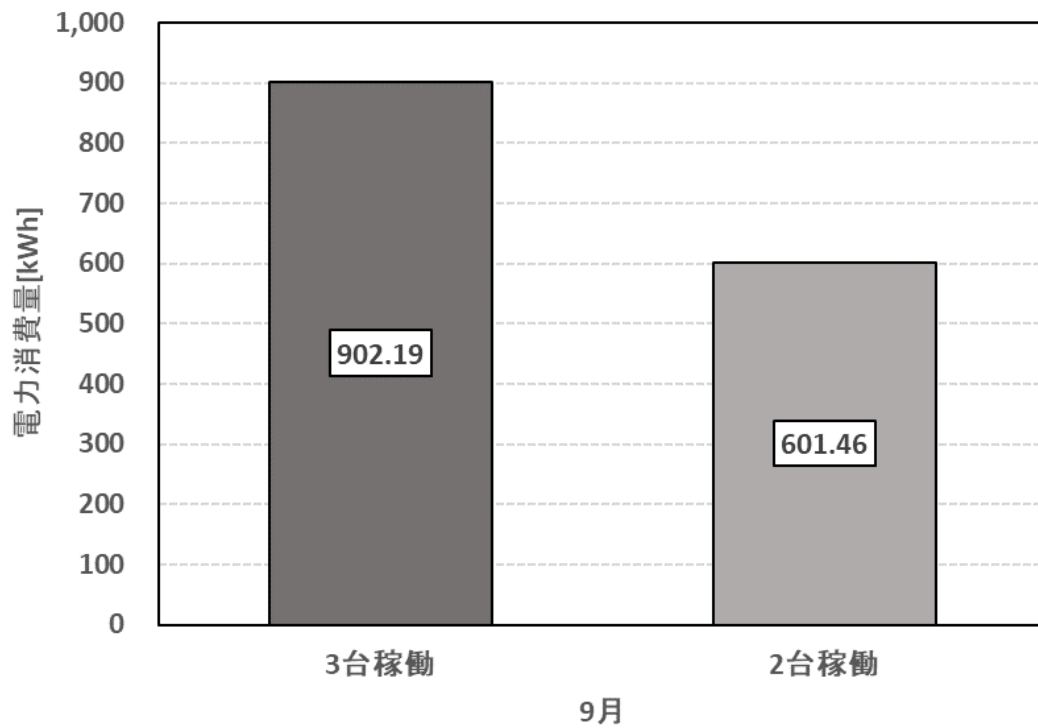


図 4.1-2 換気量抑制による消費エネルギー削減効果(9月)

4.2 空調システム

3.4 節に前述のように、地中熱ヒートポンプは暖房の予熱にのみ使用されている。これは、対象建物が竣工間近であり試験的な運用を行ったことによるが、本節では、暖房期（2月）と冷房期（8月）において、地中熱ヒートポンプを通常の空調機室外機熱交換先として有効利用した場合の空調機の省エネポテンシャルを検討した。

地中熱ヒートポンプは、年間を通して温度が安定する地中熱を熱源とするヒートポンプであり、寒冷時は地中温度が外気に対して高く、熱暑時には低いことを利用して高効率運転が可能となる。対象建物の地中温度と外気温度の推移を図4.2-1～2に示す。

同図より、地中温度と外気温は暖房・冷房時ともに温度差は平均で約10℃程度である。したがって、地中熱ヒートポンプを利用した場合、外気温度を10℃下回った（上回った）媒体と熱交換することを意味する。

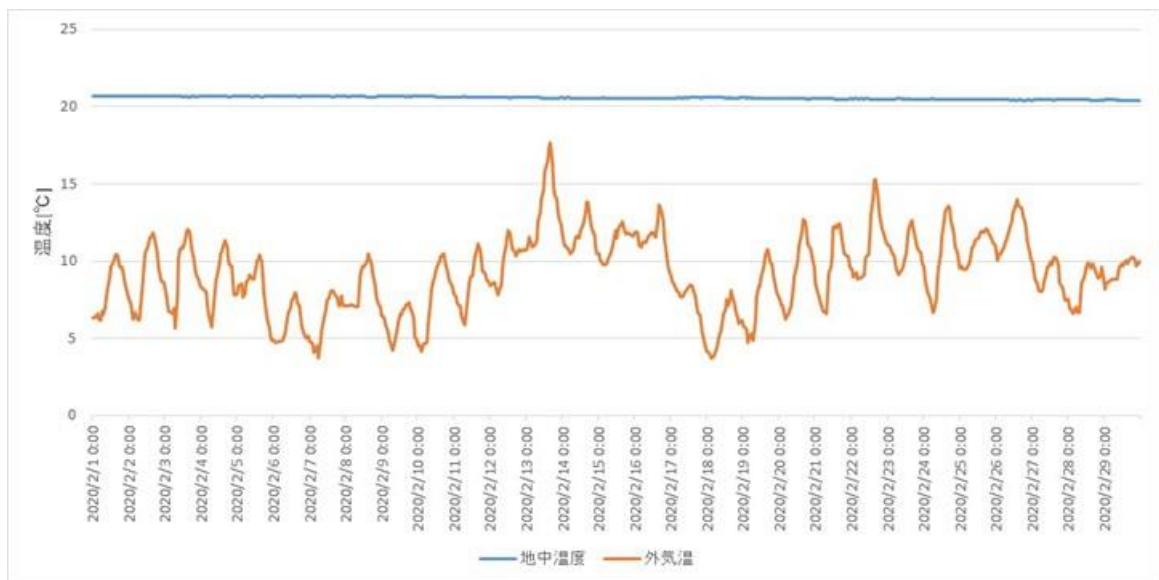


図 4.2-1 地中温度と外気温（2月）

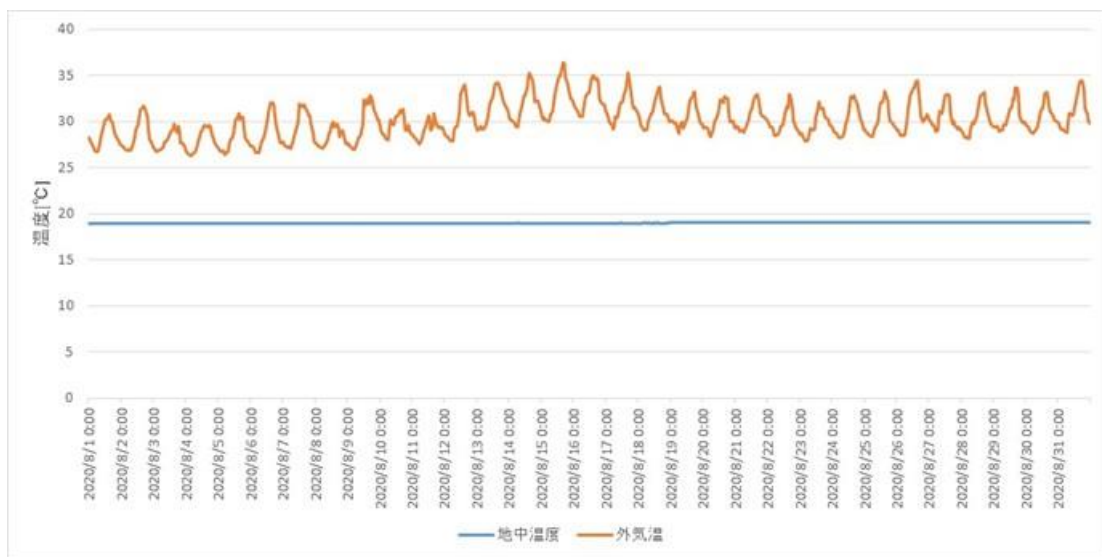


図 4.2-2 地中温度と外気温（8月）

地中熱ヒートポンプを活用した場合、空調負荷は変化せず室外機において外気温度を 10℃下回る媒体と熱交換を行うとして、3.5 節で述べた EHP 空調機のエネルギー効率特性と実測データをもとに重回帰分析を行った。ここでは、説明変数を空調負荷と室外機熱交換温度とし、目的変数を室外機電流値とした。重回帰分析の結果を表 4.2-1 および図 4.2-3 に示す。地中熱ヒートポンプの利用により、平均消費電流値は、23.07A から 17.41A に低下し、EHP 空調機の消費電力量は約 25%程度削減される。

本結果から、地中熱ヒートポンプを活用した場合の電力消費量の削減量の試算結果と ZEB 達成状況を図 4.2-5～6 に示す。地中熱ヒートポンプ単一での ZEB 達成には至らないが、有意な削減ポテンシャルを有することが明らかである。

表 4.2-1 対象建物における地中熱ヒートポンプ利用時の削減効果

	電流値[A]	消費電力量[kWh]
地中熱ヒートポンプ利用前	23.07	4160
地中熱ヒートポンプ利用時	17.41	3139

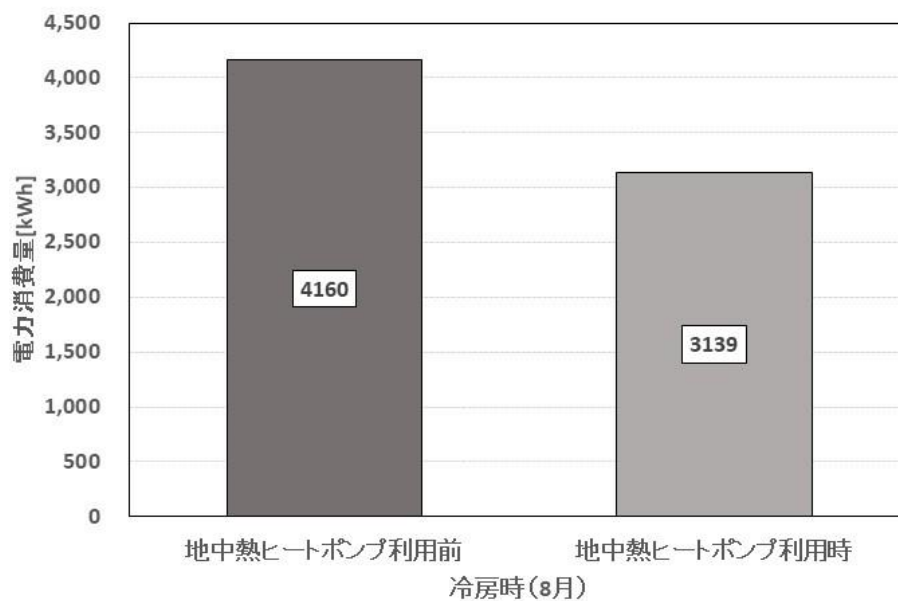


図 4.2-3 対象建物における地中熱ヒートポンプ利用時の削減効果

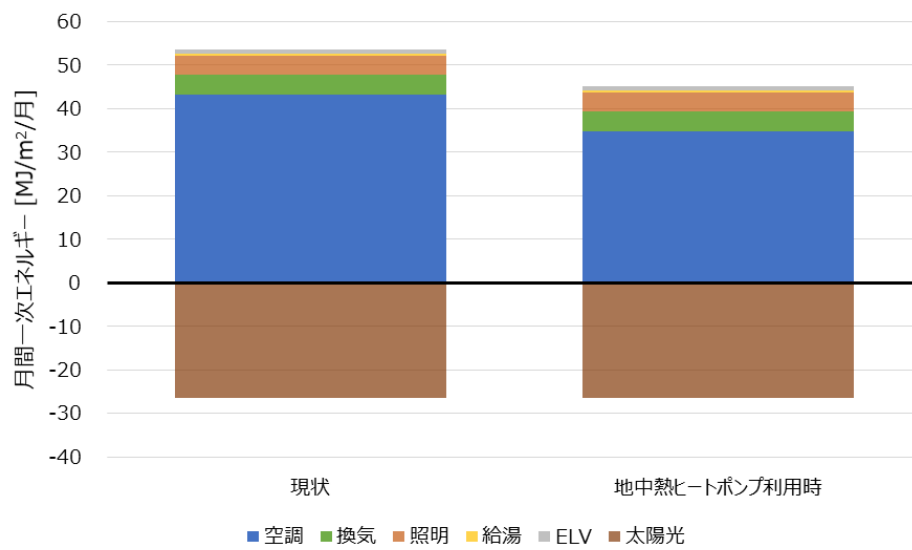


図 4.2-6 地中熱ヒートポンプ利用時の ZEB 達成状況

4.3 今後の ZEB 達成のための構成機器ガイドラインの検討

本研究では、省エネルギー構成要素における消費特性の把握ならびに削減ポテンシャルについて検討した。そのため、得られた知見を活用し、今後の ZEB 建物達成のための建築時における構成設備機器のガイドラインを表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 ZEB 達成のための構成機器ガイドライン

		機器名	基準	対象建物での消費電力削減率
省エネルギー	空調部門	ビルマルチ空調機	気象条件・空調負荷を加味した設備容量の検討	-
		地中熱ヒートポンプ (躯体蓄熱)	ビルマルチ空調機に組み込み 効率 (COP) の最大化	25%
		温冷水ポンプ	-	-
		アースチューブ (地中熱利用)	全熱交換器の外気吸込に積極的に採用し、外気負荷の低減	-
	換気部門	全熱交換器	建築物衛生法 (30m ³ /h・人) を順守し適切な換気設計	33%
		換気扇	-	-
	照明部門	-	-	-
	給湯部門	-	-	-
	ELV	-	-	-
創エネルギー	太陽光発電	-	-	-

上記の基準から今後の ZEB 建物達成のための建築時における構成機器ガイドラインを検討した。表内の無記載の欄は本研究では消費電力量の計測にとどまった。そのため、それら項目は今後の研究の課題であり、更なる削減ポテンシャルの追求のため、それらの詳細な運転実態の把握が有効である。

第5章 結言

5.1 結論

本研究では、ZEB(Pure ZEB)を達成した建築物に対して年間の実測を行い、同建物のエネルギー消費実態を把握した上で、今後のZEB化建築物の導入時におけるガイドラインを示した。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 実用ZEB建築物のエネルギー消費および建物環境の実態を把握した。
- 2) 年間の平均ではZEBは達成されるが、月毎の評価では冷房期の8月および9月で未達成である。
- 3) 建物全体における空調部門の年間一次エネルギー消費量は32%であり、ZEBが未達成の8月および9月でのそれは80%および73%である。したがって、ZEB達成の可否については、空調部門の一次エネルギー消費量の増減が大きく寄与する。
- 4) ビルマルチ空調機のエネルギー効率特性を用いて、現状の空調機を地中熱ヒートポンプに代替した場合の数値シミュレーションを行い、冷房期の空調用エネルギー25%が削減可能である。
- 5) 全熱交換器での削減ポテンシャルを検討した結果、運転台数の低減および吹き出し風量の調整などにより、十分な換気量を確保しながら、有意な削減が可能である。
- 6) 新型コロナウイルス感染拡大防止のための窓開け換気などにより、冷房期の室内における温度と二酸化炭素濃度が外気条件と比較して大差なく、換気量が多いことによる空調負荷の増大が懸念される。
- 7) 機械通風が行われる本建物では、換気量に関する正しい情報を発信し、適正換気量による消費エネルギー削減が可能である。

5.2 今後の課題

本研究は空調機の消費電力削減量の検討に過去の運転データモデルを用いているが、今後は空調機の運転データを直接入手し詳細な運転解析による結果の精度向上を図ることが課題として挙げられる。また、今回の知見を対象建物に適用し、消費エネルギーの削減量を検証する必要がある。さらに5.2節のガイドラインの無記載の欄は本研究では消費電力量の計測にとどまる。これらの充実は、更なる一次エネルギー消費量の削減に直結し、今後の課題とする。

謝辞

本研究の遂行にあたり、東京海洋大学大学院亀谷茂樹教授には、研究の着手から本論文の完成に至るまで丁寧なご指導ご鞭撻を賜りました。ここに謹んで御礼申し上げます。

戸田勝善准教授には、本研究に関して貴重なご意見を頂戴いたしましたこと、厚く御礼申し上げます。

最後に研究に協力して頂いた東京海洋大学大学院 近藤万太郎氏、池田大地氏、渡部圭氏、ならびに研究室秘書見村和美氏に厚く感謝いたします。

参考文献

- [1] IPCC 第4次報告書技術要約、国土交通省、2007年
- [2] IPCC 第5次報告書技術要約、国土交通省、2014年
- [3] 気象庁：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html
- [4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, “Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change,” 2014.
- [5] 全国地球温暖化防止活動推進センター
- [6] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, “Climate Change 2007: Synthesis Report,” 2008.
- [7] エネルギー白書 2017年 経済産業省資源エネルギー庁
- [8] 空気調和・衛生工学会
- [9] 環境省 ZEB PORTAL <http://www.env.go.jp/earth/zeb/index.html>
- [10] ZEB ロードマップ検討委員会とりまとめ、経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー対策、2017年12月
- [11] ダイキン工業株式会社 業務用換気機器 <https://www.daikinaircon.com/va/index.html>
- [12] ダイダン株式会社 エネフィス四国
：https://www.daidan.co.jp/tech/smartenergy/enefis_shikoku.html