

令和4年度～令和5年度厚生労働科学研究費補助金  
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)  
分担総合研究報告書

4. 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討

分担研究者	海塩 渉	東京工業大学	助教
研究代表者	金 勲	国立保健医療科学院	上席主任研究官
分担研究者	下ノ菌 慧	国立保健医療科学院	研究員

**研究要旨**

通常、空調設備の自動制御に使用される BEMS データの計測項目は、建築物環境衛生管理基準の項目と、温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度が重複しているが、当該データは空気環境管理に現状活用されていない。そこで BEMS データの空気環境管理への応用可能性について年間を通じた検討を行うことを目的として、BEMS を導入している3棟のオフィスビルを対象に、暖房期と冷房期のデータ収集を行った。対象ビルには BEMS データ収集を依頼するとともに、温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度の連続測定データロガーを設置し、同時期のオフィス環境の実測を行った。

空間分布に関するデータ分析の結果、①温度は居住域と壁面（インテリア・ペリメータ）、還気ダクトに設置されたセンサで近い値を取るが、空調ゾーンングや還気方式に注意が必要であること、②相対湿度は一貫した結果が得られず、空気環境管理への応用に向けたハードルが高いこと、③CO<sub>2</sub>濃度は空間的に大きく離れた還気ダクトに設置されている場合でも居住域と近い値を取るが、センサの精度をいかに保つかが重要であることが示唆された。時系列分析では、温度が朝の空調立ち上がり時に逸脱すること、特に建物を使用していない連休明けに注意が必要であることが示された。

以上より、温度と CO<sub>2</sub>濃度については空気環境管理への活用可能性が示唆されたが、相対湿度の活用は難しく、同時に BEMS センサで通常測定されることがない浮遊粉じんや一酸化炭素（CO）、気流の測定が必要であることを考慮すると、人的コストの削減に繋げることは現段階では難しい。一方で、従来のスポット測定では得られない、時間的解像度の高いデータが得られるという BEMS センサの長所は積極的に活用すべきである。基準を逸脱している場合の原因特定が容易になることは勿論、空気環境の良し悪しが「基準を逸脱しているか否か」の2値ではなく、「どれだけの時間、基準を逸脱しているか」という連続値で評価可能となる。この BEMS の有意性を活用することで、建築物衛生法の目的である「公衆衛生の向上及び増進」への更なる貢献が期待される。

研究協力者

原山 和也 アズビル（株）  
橋本 翔 ダイダマン（株）

以内に1回、午前と午後にスポットで測定をする従来の環境衛生管理手法に比して、時間的なデータ解像度が高いという長所を有する。一方で、室内の壁面や還気ダクト内に設置されるケースも多々あり、その場合居住空間からセンサの設置位置が乖離するという短所もある。これらの長所や短所を踏まえた上で、BEMS センサによる空気環境の衛生管理が、従来手法と遜色ない、もしくは従来手法より優れた手段となり得るかを検討することが本章の趣旨である。

**4-1 BEMS データ活用の趣旨**

初めに BEMS データ活用の趣旨について説明する。通常 BEMS データは空調設備の自動制御のために使用されているが、空気環境の管理には活用されていない。常時設置されている環境センサは連続測定をしているため、2か月

## 4-2 調査対象ビルの概要

関東地方に所在し、BEMSを導入している3棟のオフィスビルを対象にデータ収集を行った。表4-1に3棟のビルの基本情報を示す。3棟とも、空気調和機 Air Handling Unit (AHU) を基本とした空調方式であった。窓は閉状態で運用されていた。A、FビルはOAフロアを利用した床吹出・天井吸込であり、Eビルのみ天井吹出・天井吸込であった。データを温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度の3項目と、居住域、壁面（インテリア）、壁面（ペリメータ）、還気ダクトという4つのセンサ設置箇所を表4-2のように分類すると、ビルによって測定項目と設置箇所は異なっていたため、それぞれのビルの特徴を活かしながら、以降の分析を行った。データ収集は暖房期（1~2月）および冷房期（7月）を対象とし、年間を通じた検討を行った。勤務時間を考慮し、平日の9~17時（12~13時の昼休憩除く）を分析対象とした。また、居住域に設置した連続測定小型データロガー（T&D社製おんどり TR-76Ui）のデータも比較対象として分析した。各ビルの解析対象エリアとセンサ設置箇所を図4-1に示す。

## 4-3 空間分布に関する検討

### (1) Aビル

図4-2に、居住域に設置したデータロガーの温度をy軸、BEMSセンサの温度をx軸とした場合の散布図を示す。暖房期と冷房期の両期間について、居住域・壁面（ペリメータ）のBEMSセンサの両方とも、傾きが1に近く、 $y=x$ の直線上にプロットが乗っており、居住域に設置したデータロガーと良好な相関関係を示した。

図4-3に相対湿度の散布図を示すが、相対湿度も温度と同様に良好な相関関係が確認された。

### (2) Eビル

図4-4に、Aビルと同様の温度の散布図を示す。近似直線のみに着目すると、傾きは1から、切片は0から大きく乖離していたが、全てのプロットは $y=x$ 近傍に集中していた。しかし床吹出のAビル（図4-2）と異なり、プロットが $y=x$ のラインに沿って整然と並んでおらず、団子状に固まっている様子が観察される。これは、Eビルの空調が天井吹出であり、床吹出と比較して

吹出風速が早く、空気が攪拌されていたことが一因として考えられる。このように空調方式によって、各場所のBEMSセンサと居住域のデータロガーの測定値の対応関係が変化することが示唆された。

図4-5に還気ダクトのBEMSセンサと居住域のデータロガーの相対湿度の相関図を示す。暖房期は低湿度側で値の対応関係が悪くなった（例：BEMSセンサが約30%RHを示した時に、データロガーは約45%RHであった）ものの、冷房期の50%RH以上の範囲では対応関係が比較的良好であった。低湿度側の値の乖離は、BEMSセンサは還気ダクト内、データロガーは居住域というように設置場所が異なっていたため、発湿源である人がいる領域か否かが一因で、居住域側の値が高くなった可能性がある。

図4-6に、還気ダクトのBEMSセンサと居住域データロガーのCO<sub>2</sub>濃度の散布図を示す。暖房期（左図）はプロット群が $y=x$ 上に沿っている群と高濃度側で乖離していく群の2つに分かれており、これはデータロガーの自動校正（オートキャリブレーション）機能の稼働前後でCO<sub>2</sub>濃度が大きく変化したことが原因である。冷房期（右図）では、暖房期のように測定期間中に自動校正がかかることはなかったが、BEMSセンサとデータロガーの値に約70ppmの差が認められた。冷房期の近似直線の決定係数は高く、綺麗な相関関係が認められたため、切片の補正によって還気ダクトのCO<sub>2</sub>濃度から居住域の値を推定することが可能と考えられる。一方で、暖房期のようにCO<sub>2</sub>の校正によっては値が大きく異なってくるため、BEMSによって空気環境を管理する場合には、初期校正やセンサの校正頻度などを予め規定しておくことが重要である。

### (3) Fビル

Fビルは、Aビルと同様に床吹出・天井吸込の空調方式であるが、図4-1に示す通り、ペリメータの負荷処理用にファンコイルユニット Fan Coil Unit (FCU) が別途設置されており、空調ゾーンが分かれている点の特徴である。

図4-7に、設置箇所別のBEMSセンサとデータロガーの温度の相関図を示す。まずプロットの形状に着目すると、Aビルと同様にプロット

トが団子状にならずにライン上に整然と並んでいる様子が観察される。これは床吹出空調のビルの特徴と推察される。冷房期（右図）は居住域、壁面（ペリメータ）、還気ダクトの BEMS センサとデータロガーは近しい値を取った（ $y=x$  の線上にプロットが位置していた）が、暖房期（左図）は壁面（ペリメータ）と還気ダクトの BEMS センサと居住域のデータロガーの対応は  $y=x$  から平行移動する形状を示していた。これはペリメータが AHU の空調ゾーンと独立していたために値がズレたこと、本ビルの還気方式が天井チャンバ方式であり、空調空間である居室と非空調空間である天井裏の空気が混合したことが原因と考察される。従って、壁面（ペリメータ）に設置されている BEMS センサを使用する際には空調ゾーニングを確認すること、還気ダクトの BEMS センサを使用する際には還気方式を把握することが重要と考えられる。

図 4-8 に、居住域の BEMS センサとデータロガーの相対湿度の散布図を示す。BEMS センサとデータロガーの測定箇所は空間的に近かった（どちらも居住域であった）にもかかわらず、暖房期は約 6%RH、冷房期は約 7%RH の差異があり、データのバラツキが大きい結果であった。これはセンサ種別や個体差が表れたものと考えられる。

図 4-9 に、還気ダクトの BEMS センサと居住域のデータロガーの CO<sub>2</sub> 濃度の散布図を示す。空間的には大きな距離があったものの、良好な相関関係が見られた。これは CO<sub>2</sub> の拡散のしやすさ等によるものと考えられ、BEMS センサによる CO<sub>2</sub> 濃度管理は比較的可能性が高いものとする。

#### 4-4 時刻変動に関する検討

##### (1) A ビル

図 4-10 に、居住域の BEMS センサによって取得した、暖房期と冷房期それぞれの平日の日ごとの温度の時刻変動を示す（9～17 時の勤務時間中、1 つの線が 1 日を示す）。暖房期について温度が建築物環境衛生管理基準の下限である 18℃を下回る時間があり、冷房期について温度が上限である 28℃を上回る時間帯があった。こ

の逸脱は、いずれも連休明けの空調立ち上がり時間帯に発生していたため、構造体等への蓄熱負荷が原因と考えられる。このように BEMS の時系列データを詳細に解析すると、逸脱している原因の特定に繋がることがあり、BEMS 活用による環境衛生管理の有意性の一つと考える。

図 4-11 に暖冷房期の相対湿度の時刻変動を示す。基準を逸脱している時間の割合（逸脱時間割合＝基準を逸脱している時間／総測定時間）を見ると、暖房期は 81.4%であった。外気が高温である冷房期にも相対湿度が 40%RH を下回る時間が見られ、逸脱時間割合は 25.8%であった。従来の午前・午後のスポット的な測定からでは「基準を逸脱しているか否か」という 2 値による判断しかできないが、BEMS の長期的な測定に基づき「逸脱時間割合 0～100%」という形で空気環境の良し悪しを判断できることは極めて有益であり、こちらも BEMS 活用による環境衛生管理の有意性と考えられる。

##### (2) E ビル

図 4-12、4-13、4-14 に、BEMS センサによって取得した温度、相対湿度、CO<sub>2</sub> 濃度の時刻変動を示す。暖房期の相対湿度だけ基準を逸脱しており、逸脱時間割合は 36.4%であった。図 4-12 の温度推移からも明らかのように、本ビルは厳格な自動制御がなされており、気化式加湿を採用していたものの、低湿な冬季の外気に対して加湿能力が不足していた可能性がある。

##### (3) F ビル

図 4-15 に、BEMS センサによって取得した温度の時刻変動を示す。暖房期と冷房期ともに温度の基準範囲である 18～28℃を逸脱することはなかったが、冷房期の 4 連休明けの 7/25 に 28℃近傍を推移していたため、A ビルと同様に連休明けの蓄熱負荷対応は留意が必要と考えられる。図 4-16 に相対湿度の時刻変動を示す。暖房期に基準範囲である 40～70%RH を逸脱することはなかったが、冷房期に範囲を超過する時間が僅かにあり、逸脱時間割合は 1.8%であった。図 4-17 に CO<sub>2</sub> 濃度の時刻変動を示す。暖房期と冷房期ともに朝から夕方にかけて緩やかに上昇をする傾向が確認されたが、1000 ppm 以下の基準範囲を逸脱することはなかった。

#### 4-5 BEMS データ活用の可能性

本章では暖房期と冷房期の実物件のデータ収集と分析を通じ、年間を通して建築物の空気環境管理に対する BEMS データ（温度・相対湿度・CO<sub>2</sub>濃度）の応用可能性を検討した。その結果、以下の成果が得られた。

- 1) 温度は床吹出と天井吹出の空調方式で、散布図のプロット形状に違いが認められたものの、居住域と壁面（インテリア・ペリメータ）、還気ダクトに設置されたセンサで近い値を示すケースが多く、空気環境管理に利用できる可能性が高い。ただし、暖房期において、ペリメータ壁面の BEMS センサを使用する際には空調ゾーニングを確認する必要があり、還気ダクト内の BEMS センサを使用する際には還気方式を考慮する必要がある。
- 2) 相対湿度は暖房期と冷房期ともに 3 ビルの BEMS データから一貫した結果が得られなかったため、空気環境管理への活用に向けては更なる検討が必要と判断される。
- 3) CO<sub>2</sub>濃度は、空間的に大きく離れた還気ダクトに設置されている場合でも、居住域と良い相関関係を示した。しかし、校正の状態によっては値が大きくずれることがあるので、初期の校正や継続的な精度管理が重要である。
- 4) 時刻変動に関する検討の結果、暖房期と冷房期ともに、朝の空調立ち上がり時の温度の基準範囲からの逸脱に注意が必要であることが示唆された。特に建物を使用していない連休明けに注意が必要である。
- 5) 相対湿度について、逸脱時間割合という形で評価を行った結果、特に暖房期の加湿に課題を抱えているビルが多い結果であった。

以上のような BEMS データの分析を通して、温度と CO<sub>2</sub>濃度については空気環境管理への活用可能性が示唆されたものの、相対湿度の活用は現段階では難しく、同時に BEMS センサで通常測定されることがない浮遊粉じんや一酸化炭素（CO）、気流の測定が必要であることを考慮すると、人的コストの削減に繋げることは難しいと考えられる。一方で、従来の午前午後スポット測定では得られない、時間的解像度の高いデータが得られるという BEMS センサの長所は積極的に活用すべきである。これまで

のように「基準を逸脱しているか否か」という 2 値で空気環境の良し悪しを判断するだけではなく、「逸脱時間割合」という形で 0~100%の段階で空気環境を評価することは有益である。具体的には、基準を逸脱していた場合に、ギリギリ空気環境基準を満たしていないのか、全く基準を満たしていないのか、といった判断が可能となり、特に注意が必要なビルの特定に繋がるといったメリットがある。従って、BEMS の長所を活用した空気環境管理は、建築物衛生法の目的でもある「公衆衛生の向上及び増進」に繋がる重要な取り組みになると考える。

#### 研究発表

1) 海塩 渉, 鍵 直樹, 富田 怜, 金 勲, 下ノ菌 慧, 中野 淳太: 建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考 (第 2 報) 空気環境管理へのビルエネルギーマネジメントシステム活用手法の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2023

知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)  
予定なし

表 4-1 データ収集したオフィスビルの基本情報

ID	所在地	空調方式	吹出	吸込	窓	データ分析期間
A	埼玉県三芳町	AHU+水冷 PAC	床	天井	閉	暖房期：2023/1, 冷房期：2023/7
E	神奈川県藤沢市	AHU	天井	天井	閉	暖房期：2023/2, 冷房期：2023/7
F	神奈川県藤沢市	AHU+窓際 FCU	床	天井	閉	暖房期：2023/2, 冷房期：2023/7

※ AHU (Air Handling Unit) : 空気調和機、FCU (Fan Coil Unit) : ファンコイルユニット  
 PAC (Package Air Conditioner) : パッケージエアコン

表 4-2 各ビルで収集した BEMS データ項目とセンサの設置箇所

ID	温度				相対湿度				CO <sub>2</sub> 濃度			
	居住域	壁面		還気ダクト	居住域	壁面		還気ダクト	居住域	壁面		還気ダクト
		I	P			I	P			I	P	
A	○	—	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
E	○	○	—	○	—	—	○	—	—	—	—	○
F	○	—	○	○	○	—	—	—	—	—	—	○

※ I : インテリア、P : ペリメータ

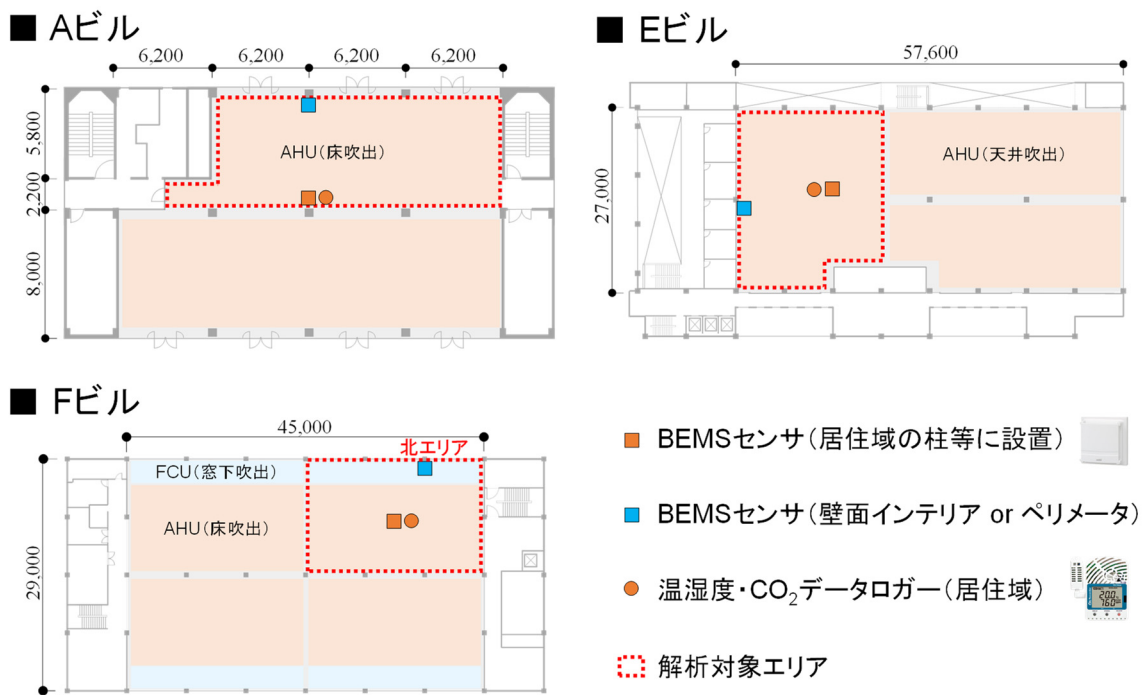


図 4-1 各ビル解析対象エリアとのセンサ設置箇所

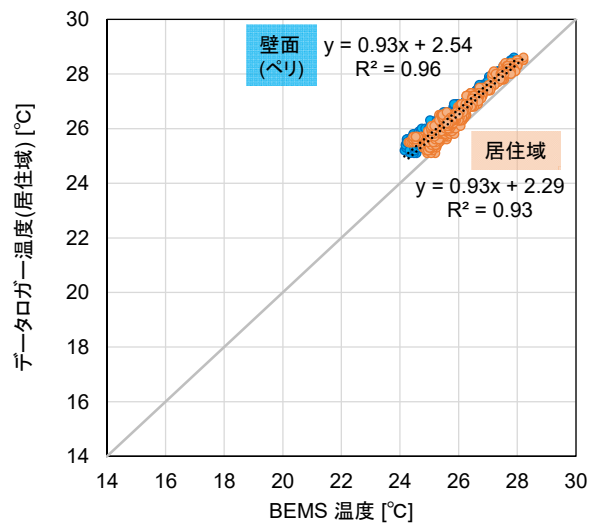
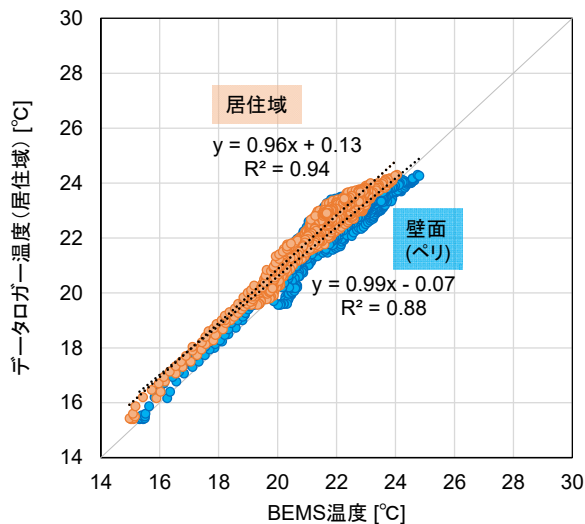


図 4-2 A ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

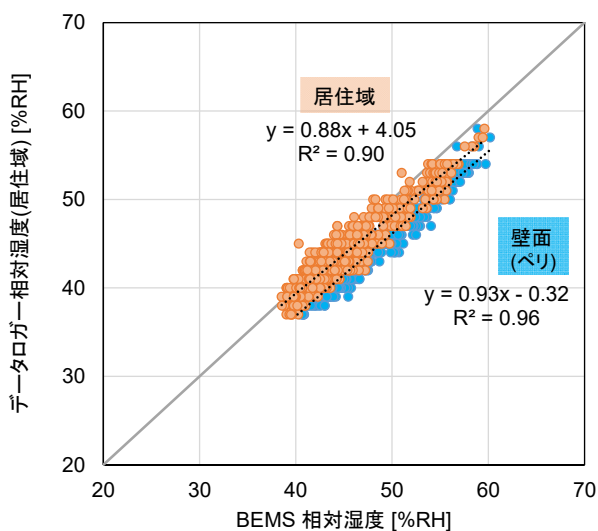
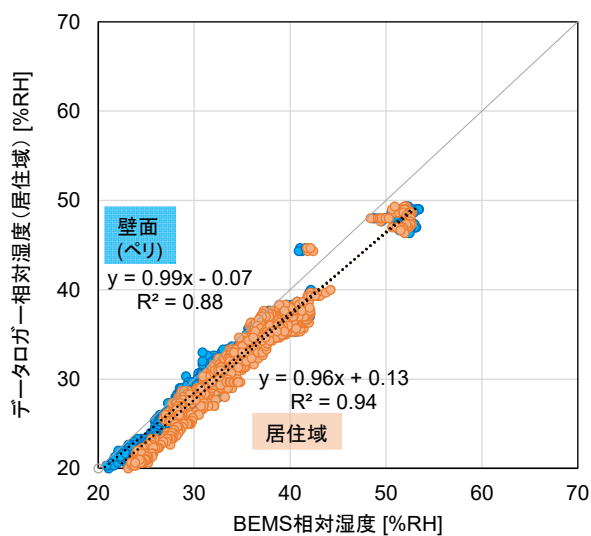


図 4-3 A ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

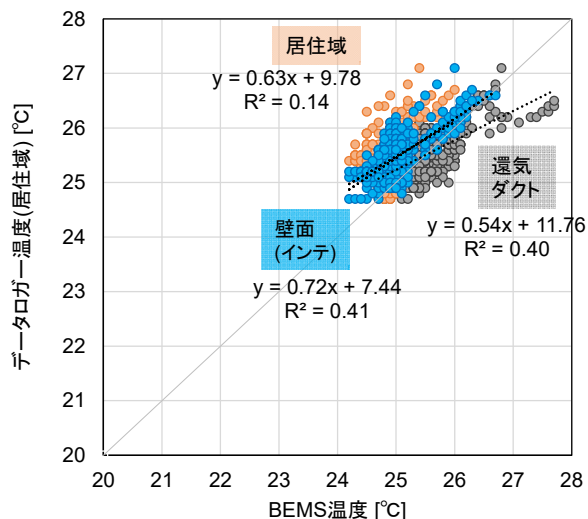
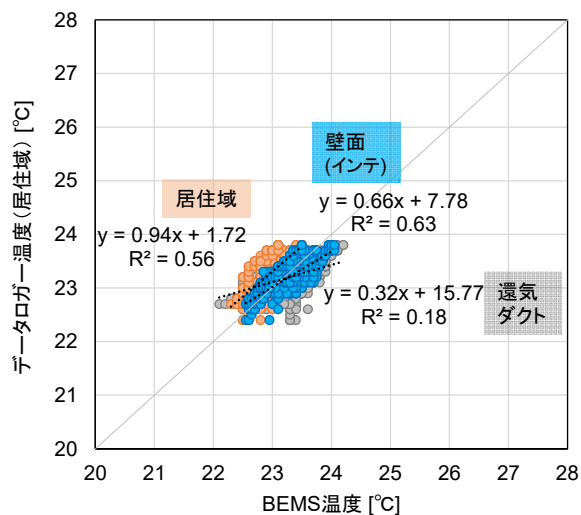


図 4-4 E ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

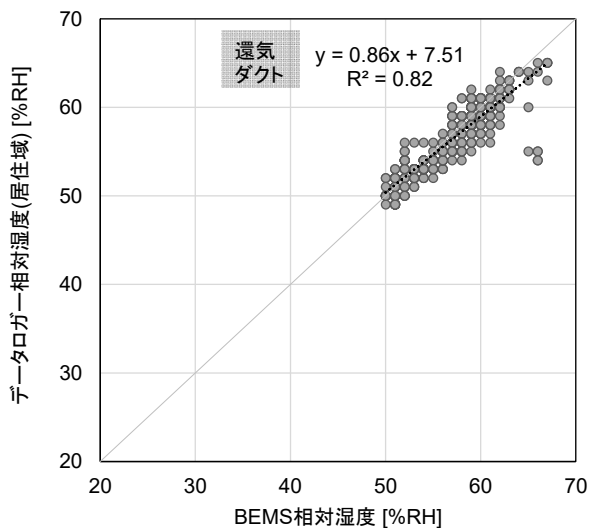
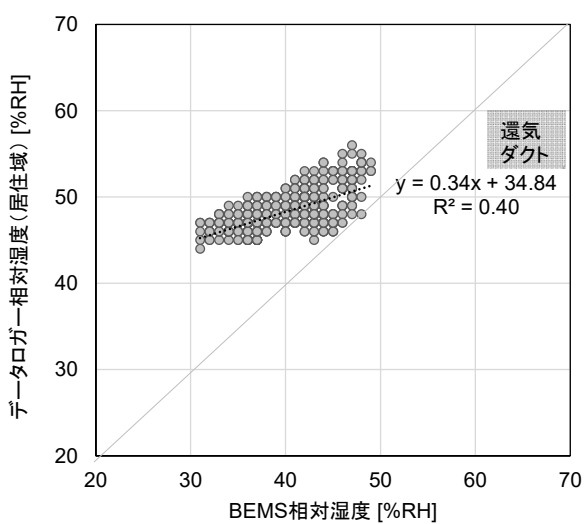


図 4-5 E ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

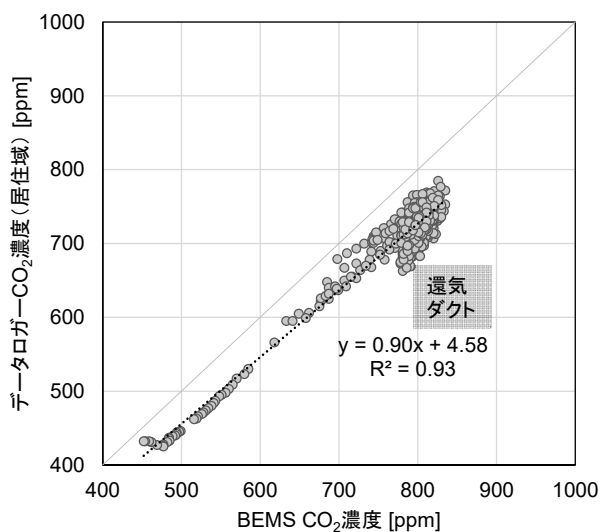
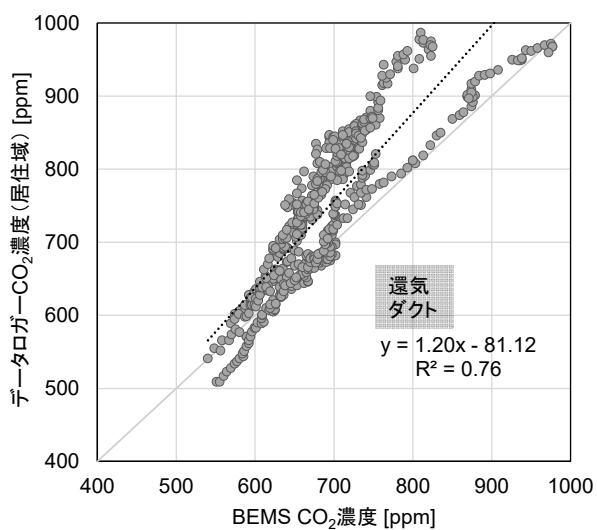


図 4-6 E ビルの BEMS センサとデータロガーの CO<sub>2</sub> 濃度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

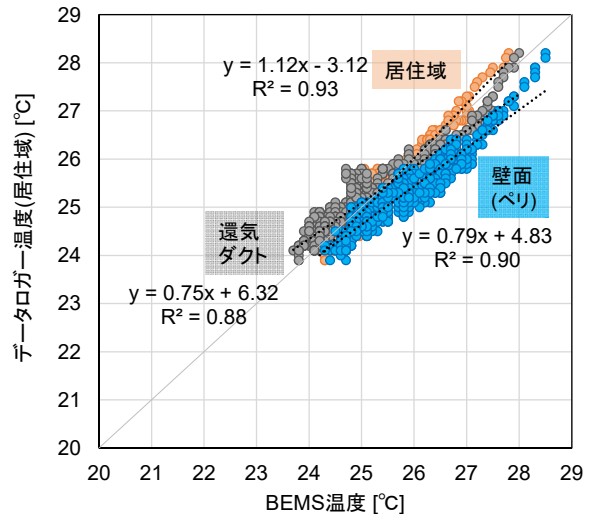
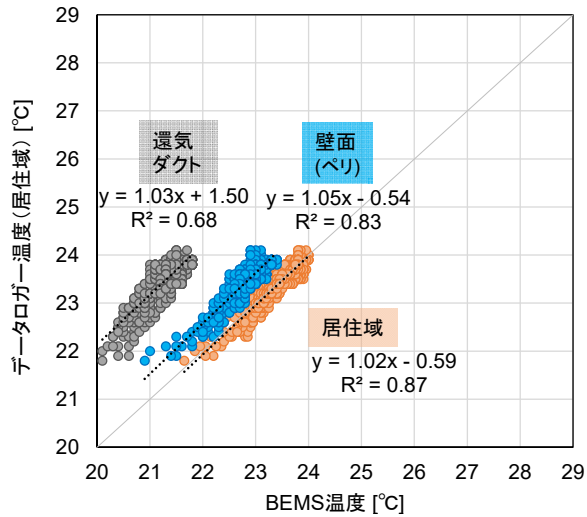


図 4-7 F ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図 (左: 暖房期、右: 冷房期)

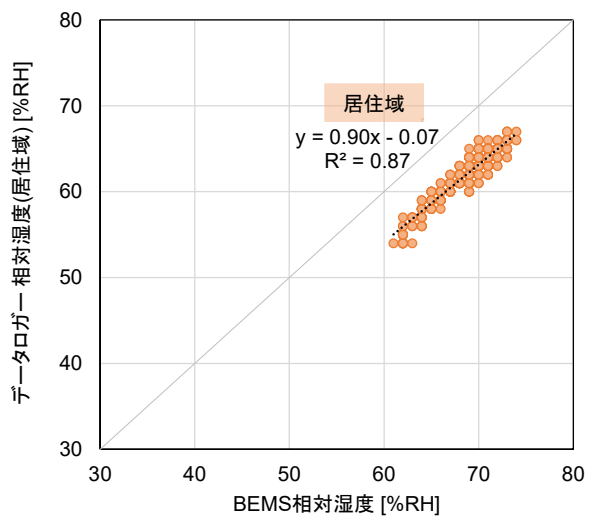
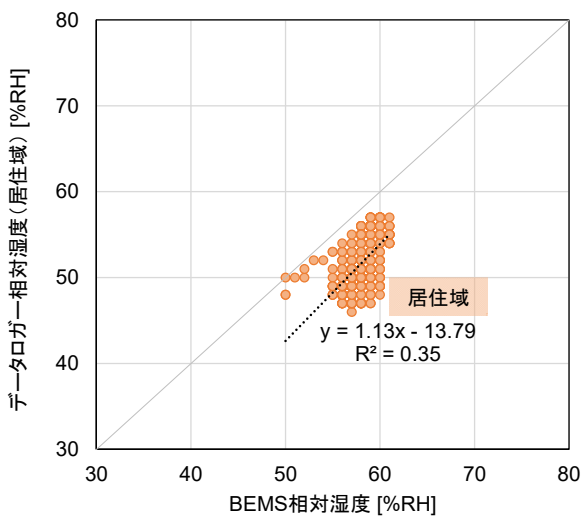


図 4-8 F ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図 (左: 暖房期、右: 冷房期)

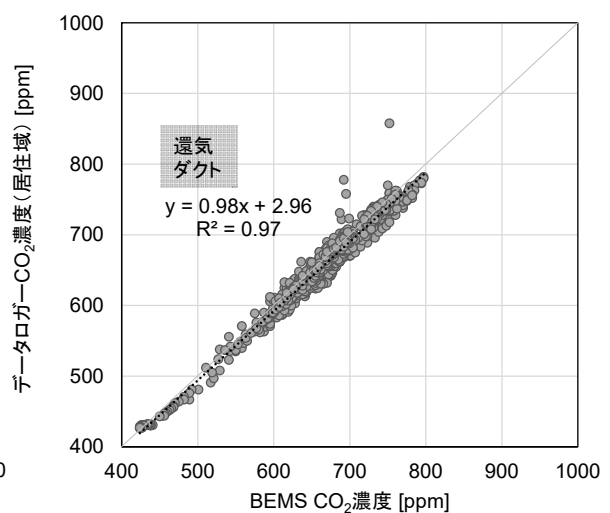
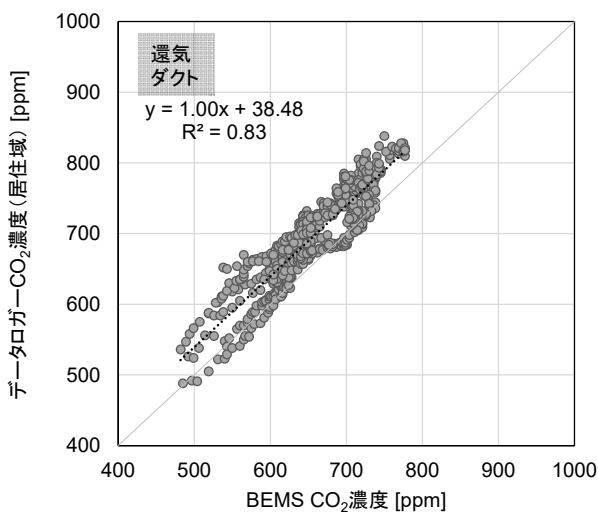


図 4-9 F ビルの BEMS センサとデータロガーの CO<sub>2</sub> 濃度散布図 (左: 暖房期、右: 冷房期)



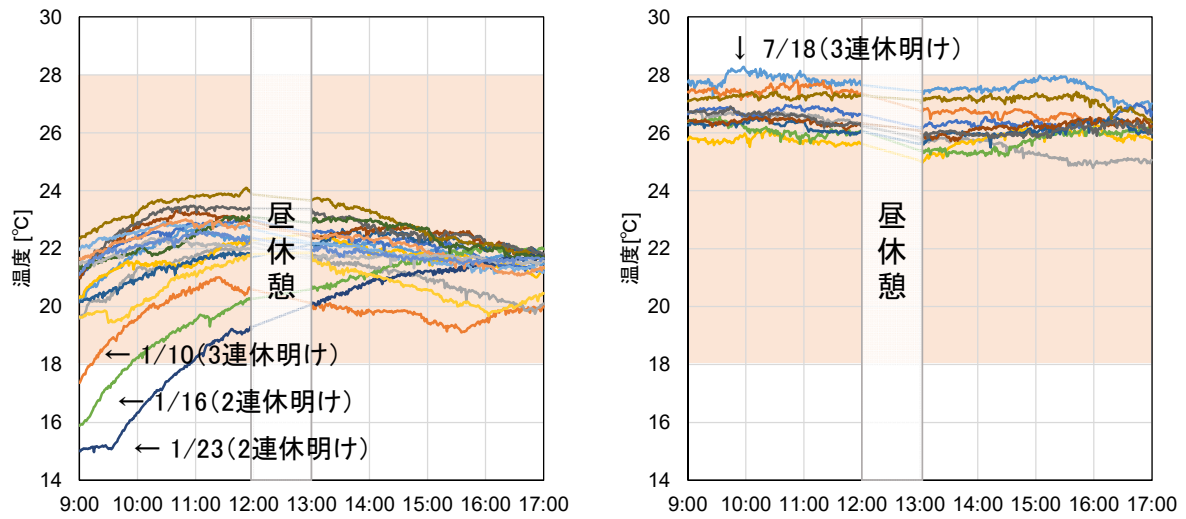


図 4-10 A ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動 (左：暖房期、右：冷房期)

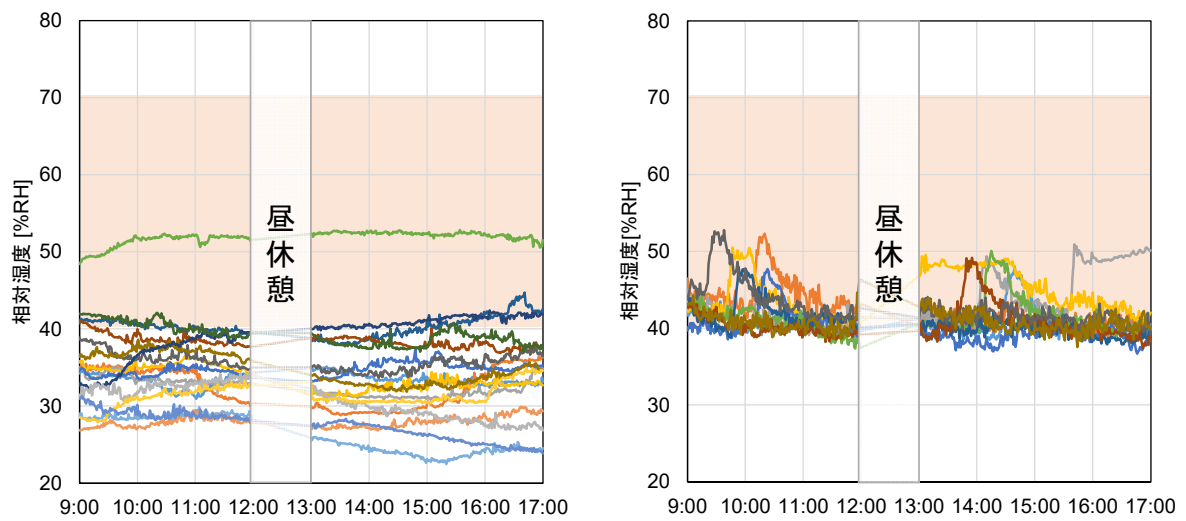


図 4-11 A ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動 (左：暖房期、右：冷房期)

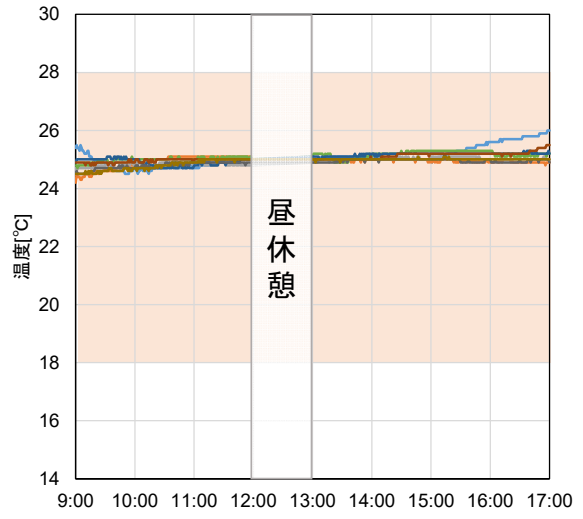
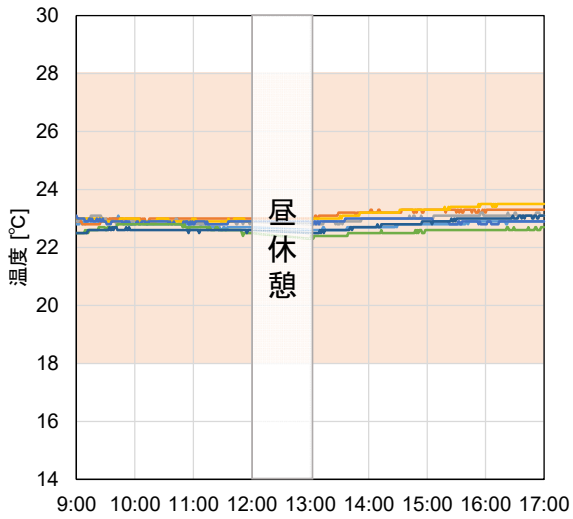


図 4-12 E ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

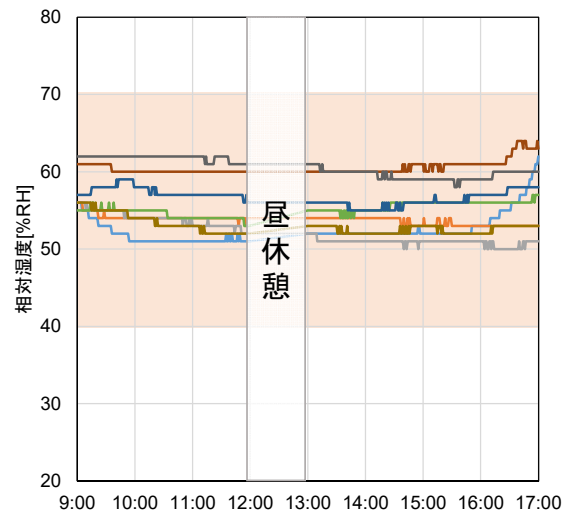
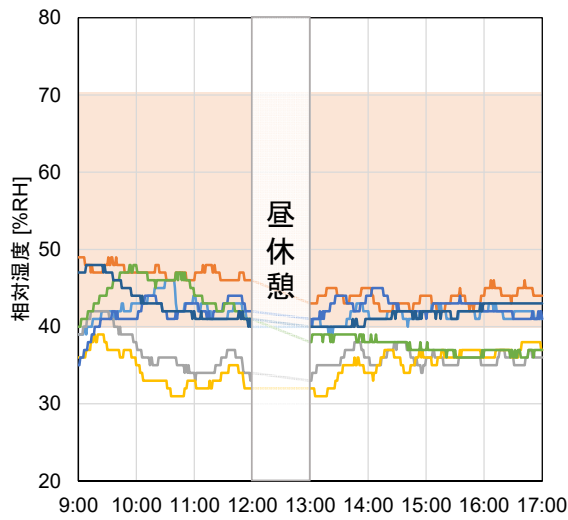


図 4-13 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の相対湿度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

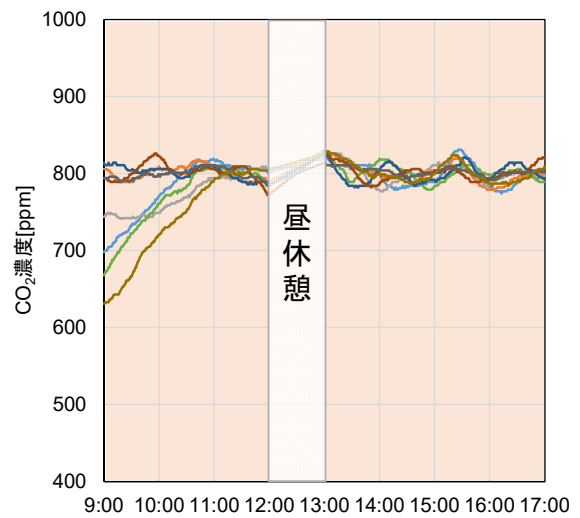
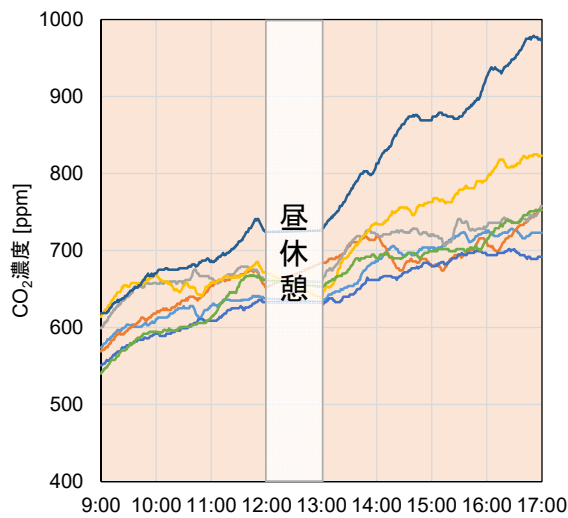


図 4-14 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO<sub>2</sub> 濃度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

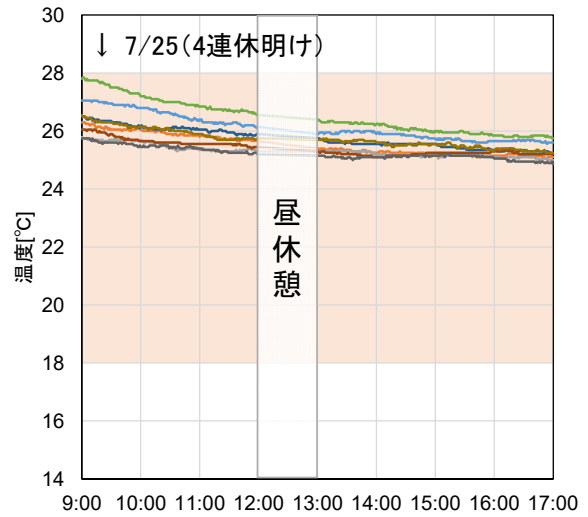
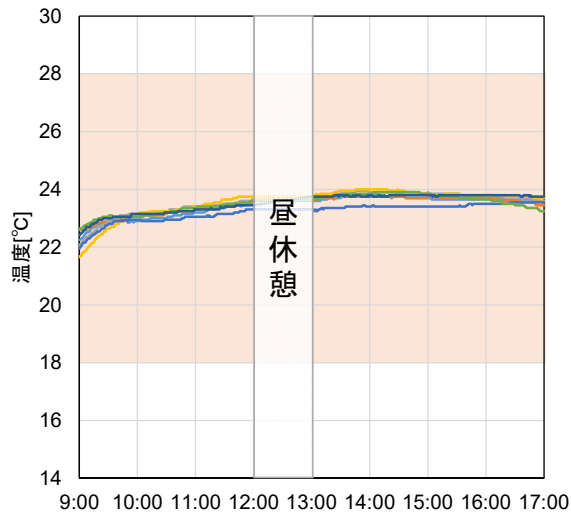


図 4-15 F ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

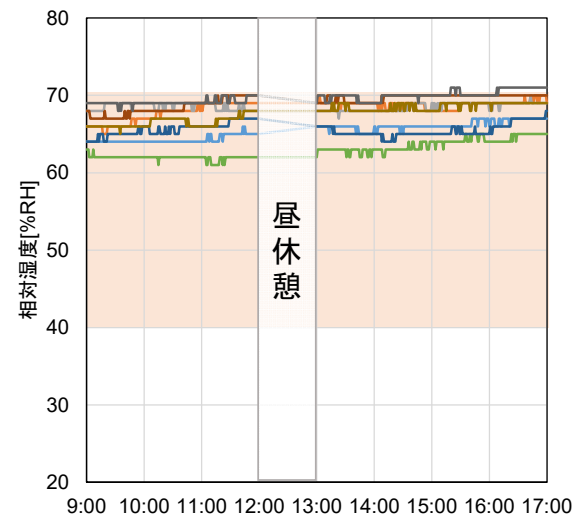
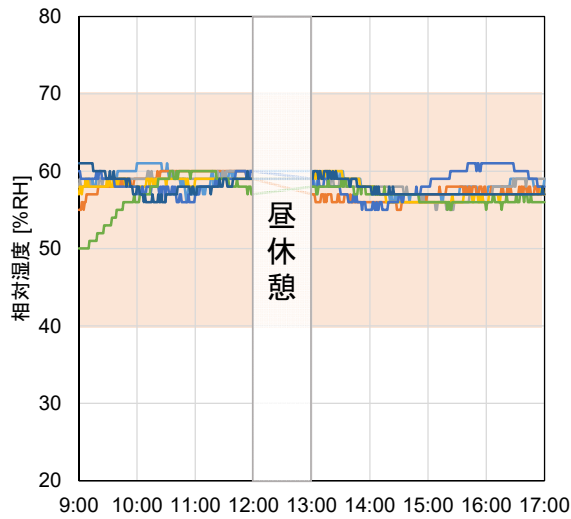


図 4-16 F ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

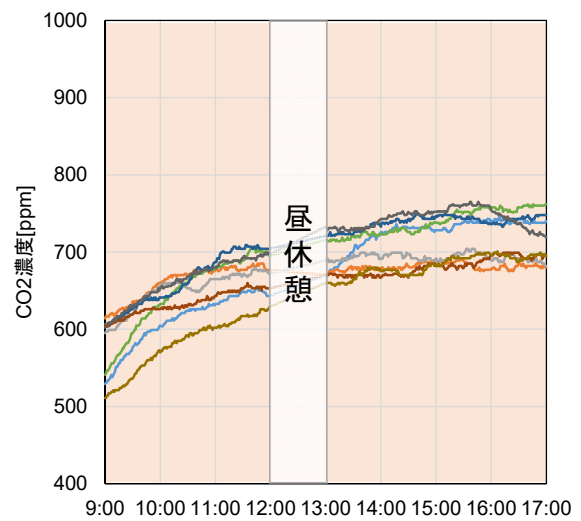
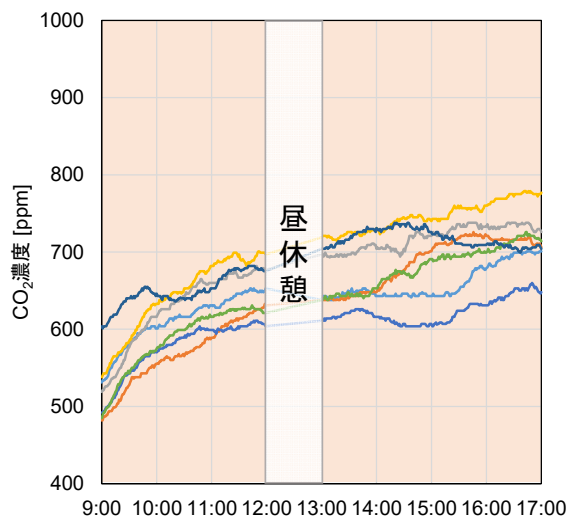


図 4-17 F ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO<sub>2</sub> 濃度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)