

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

2022 年度に実施した暖房期の調査に引き続き BEMS を導入している 3 棟のオフィスビルを対象に冷房期のデータ収集を行い、BEMS データの空気環境管理への応用可能性について検討を行った。対象ビルには、温度、湿度、CO₂濃度の連続測定データロガーを設置し、同時期の BEMS データの収集を依頼した。

分析の結果、冷房期において、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ため、空気環境管理に利用できる可能性が高いこと、②相対湿度は一貫した結果が得られないこと、③CO₂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ことが示唆された。また時系列データによる検討の結果、温度は朝の冷房立ち上がり時に高く、特に建物を使用していない連休明けに基準の逸脱に注意が必要であることが示された。しかし暖房期に比べて、冷房期の相対湿度の逸脱時間割合は小さかったことから、夏季の高湿度環境よりも冬季の低湿度環境に注意を払う必要があると示された。

以上より、冷房期の温度と CO₂濃度については空気環境管理への活用が可能であると考えられるが、相対湿度の活用は難しいことが示唆された。これは暖房期と同様の傾向であった。今後は暖房期を含む年間を通じた検討によって、季節や空調方式(床吹出 or 天井吹出)等の違いを考慮しつつ、BEMS 活用可能性について更に検討を深めるとともに、活用する場合の注意点を整理していく必要がある。

研究協力者

原山 和也	アズビル (株)
橋本 翔	ダイダン (株)

4-1 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。窓は閉状態であった。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、CO₂

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、以降の検討を行った。今年度は冷房期を対象とし、A, E, F ビルとも 7 月のデータを分析した。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。

4-2 空間分布に関する検討

(1) A ビル

図 4-2 に、設置箇所別の BEMS センサの温度、比較対象として居住域に設置した連続測定小型データロガーの温度を示す。BEMS センサの平均温度は、居住域：25.9℃、壁面（ペリメータ）：26.1℃と近い値を示し、居住域に設置したデータロガーは 26.5℃と僅かに温度が高かった。図 4-3 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。居住域・壁面（ペリメータ）の BEMS センサとも、切片が僅かにプラス側に振れているが、傾きが 1 に近く、データロガーと良好な相関関係が確認された。

図 4-4 に相対湿度の箱ひげ図を示す。温度に依存するため単純な比較は難しいが、居住域、壁面（ペリメータ）の BEMS センサの平均値はそれぞれ 46%RH, 44%RH であり、大きな差異は認められなかった。図 4-5 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対応関係が確認された。

(2) E ビル

図 4-6 に、設置箇所別の BEMS センサの温度と居住域のデータロガーの温度を示す。約 0.5℃還気ダクトの平均温度が高かったものの、3 か所の BEMS センサに大きな差は認められなかった。図 4-7 に散布図を示す。近似直線の傾きは 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。これは昨年度報告した暖房期と同様の傾向であり、床吹出の A ビル（図 4-3）と異なり、プロットが整然と並んでいない様子が観察される。その一因として、E ビルの空調が天井吹出で、空気が攪拌されていたことが考えられる。

図 4-8, 4-9 に還気ダクトの BEMS センサとデータロガーの相対湿度の箱ひげ図と相関図を示す。BEMS センサとデータロガーの設置場所が異なっているものの、平均相対湿度は両センサとも 57%RH であり、暖房期と比較して良好な相関関係が認められた。

図 4-10 に還気ダクトの BEMS センサと居住域データロガーの CO₂ 濃度の箱ひげ図を示す。平均値に約 70 ppm の差が認められた。図 4-11 の相関図の決定係数は高く、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 CO₂ 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、居住域の CO₂ 濃度はデータロガーを設置した 1 箇所を代表点として扱っているため、その設置箇所の代表性については注意が必要であり、居住域の濃度ムラを考慮する必要がある。

(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が特徴である。

図 4-12 に、設置箇所別の BEMS センサとデータロガーの温度の箱ひげ図を示す。居住域の BEMS センサとデータロガーは近い値を取ったが、壁面（ペリメータ）の BEMS センサの温度は平均 25.7℃で他の場所に比して僅かに高かった。夏の屋外の暑熱環境の影響を受けたものと考えられる。図 4-13 に居住域に設置したデータロガーと BEMS センサの温度の散布図を示す。暖房期のデータでは、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は $y=x$ から平行移動する形状を示していたが、冷房期の本データにおいては $y=x$ の線上にプロットが位置し、良好な対応を示した。

図 4-14 に居住域の BEMS センサとデータロガーの相対湿度の箱ひげ図、図 4-15 に散布図を示す。温度は 2 つのセンサでほぼ同等であったにもかかわらず、相対湿度には約 7%RH の差異が認められ、データのバラツキが大きい結果であった。BEMS センサとデータロガーは、空間的には近い場所（どちらも居住域）に設置したため、センサ種別や個体による差が表れたものと考えられる。

図 4-16, 4-17 に、還気ダクトの BEMS センサと居住域のデータロガーの CO₂ 濃度の箱ひげ図と散布図を示す。空間的には大きな距離があったものの、データのバラツキ含めて非常に良い対応関係が見られた。これは CO₂ の拡散のしやすさ等によるものと考えられる。

4-3 時刻変動に関する検討

(1) A ビル

図 4-18 に、居住域の BEMS センサによって取得した、7 月後半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)。温度が建築物環境衛生管理基準の上限である 28℃を上回る時間帯があり、これは 7/18(火、3 連休の翌日)という連休明けの空調立ち上がり時間帯であった。暖房期も連休明けに 18℃を下回る状況が確認されたため、A ビルにおいては暖冷房期ともに空調立ち上げ時の基準の逸脱に注意する必要があることが示唆された。図 4-19 に相対湿度の時刻変動を示す。冷房期にもかかわらず相対湿度が 40%RH を下回る時間も見られ、逸脱時間割合(=基準を逸脱している時間/総測定時間)は、25.8%であった。

(2) E ビル

図 4-20, 4-21, 4-22 に、BEMS センサによって取得した温度、相対湿度、CO₂濃度の時刻変動を示す。本ビルにおいては 7/21 と 7/24 が休業であったため、当該データを除外している。温度は約 25℃、相対湿度は 50~60%RH の範囲で、CO₂濃度は 800 ppm 付近で一日を通して安定していた。各項目の挙動から、E ビルは厳格な自動制御がなされていたものと考えられる。

(3) F ビル

本ビルも 7/21 と 7/24 が休業であったため、当該データを除外した。図 4-23 に、BEMS センサによって取得した温度の時刻変動を示す。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、朝の空調立ち上がり時に温度が徐々に低下する挙動が確認され、特に 4 連休明けの 7/25 にその挙動が顕著に現れていた。図 4-24 に相対湿度の時刻変動を示す。相対湿度は基準範囲である 40~70%RH 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 5-25 に CO₂濃度の時刻変動を示す。暖房期と同様に朝から夕方にかけて緩やかに上昇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。

4-4 BEMS データ活用の可能性

本章では冷房期の実物件データ分析を通じ、建築物の空気環境管理に対する BEMS データ

(温度・相対湿度・CO₂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し、空気環境管理に利用できる可能性が高い。ただし 28℃に近い温度領域においては、当然のことながら、少しの差で基準範囲である 28℃以下を満足するか否かが分かれるので、28℃近傍で運用しているオフィスでは BEMS センサの設置箇所による僅かな差にも注意を払う必要がある。翻って、26℃近傍で運用しているオフィスにおいては、居住域から離れた箇所(ペリメータ壁面や還気ダクト)に設置されているセンサを活用して、28℃以下か否かという環境管理をすることも可能と考えられる。

2) 相対湿度は 3 ビルの BEMS データから一貫した結果が得られなかった。具体的には、居住域のデータロガーと空間的に近い居住域に設置された BEMS センサであっても値が大きく異なっているケース、反対に還気ダクトに設置された BEMS センサの値が居住域のデータロガーと良好な対応関係を示すケースなど様々であった。

3) CO₂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の絶対値がずれることがあるので、初期の校正や継続的な管理が必要である。

4) 時刻変動に関する検討の結果、暖房時と同様に温度は朝の空調立ち上がり時の基準範囲からの逸脱、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唆された。

以上のような BEMS データの分析を通して、温度と CO₂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いことが示された。これは暖房期と同様の結果であった。今後は、暖房期を含む年間を通じた検討によって、季節や空調方式(床吹出 or 天井吹出)等の違いを考慮しつつ、BEMS 活用可能性について更に検討を深めるとともに、活用する場合の注意点を整理していく予定である。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

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

3. 著書

なし

G. 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	データ収集期間
A	埼玉県三芳町	AHU+水冷 PAC	床	天井	閉	2023/7
E	神奈川県藤沢市	AHU	天井	天井	閉	2023/7
F	神奈川県藤沢市	AHU+窓際 FCU	床	天井	閉	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 ₂ 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

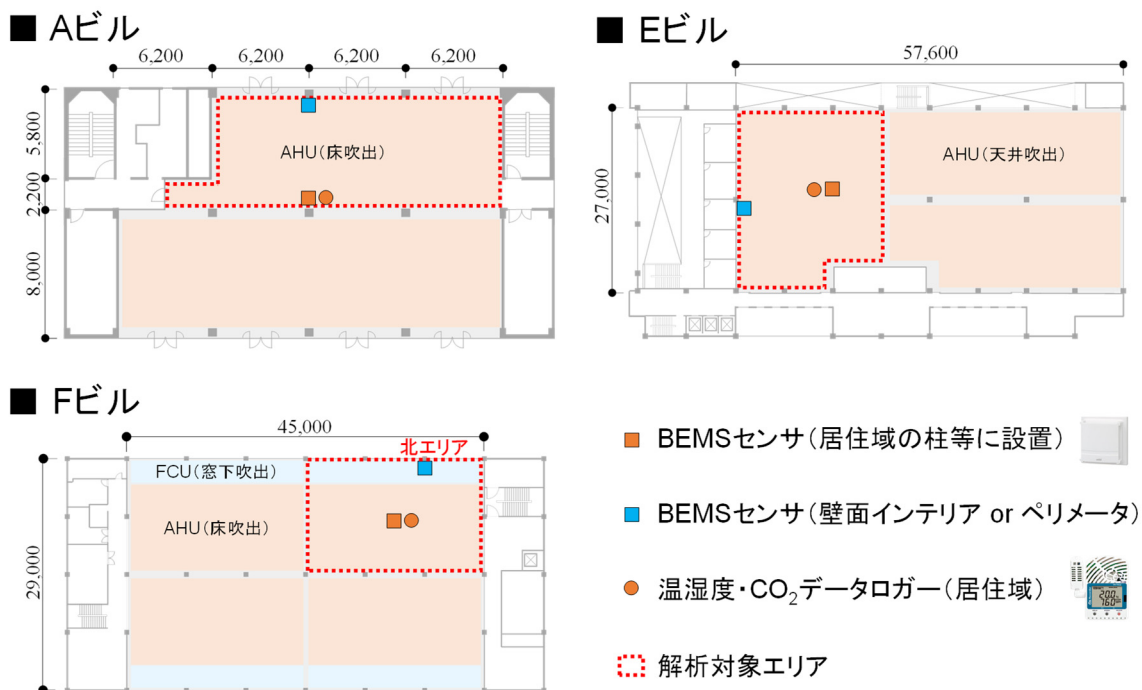


図 4-1 各ビル解析対象エリアとのセンサ設置箇所

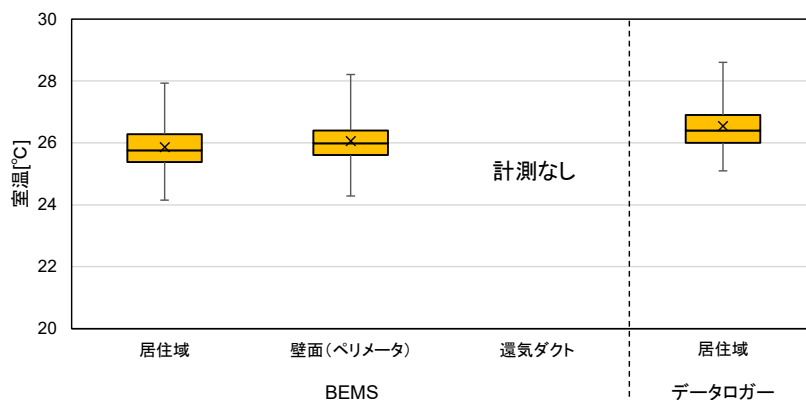


図 4-2 A ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの温度比較

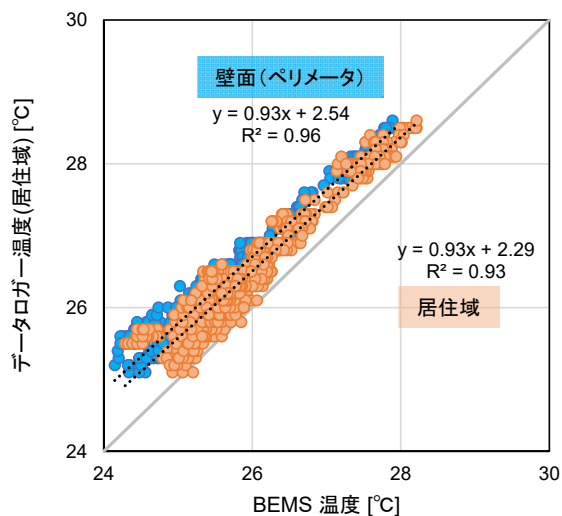


図 4-3 A ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の温度散布図

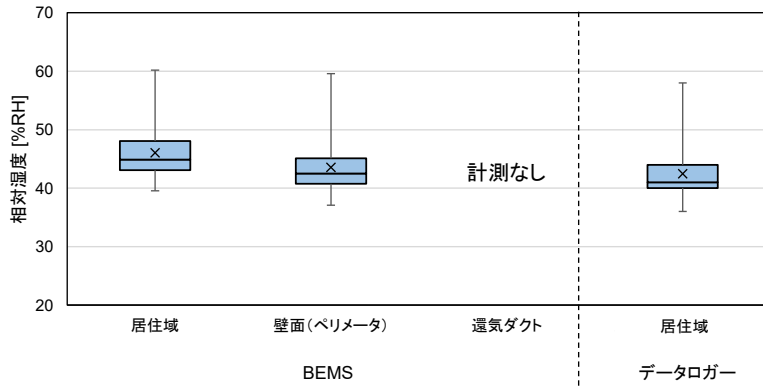


図 4-4 A ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの相対湿度比較

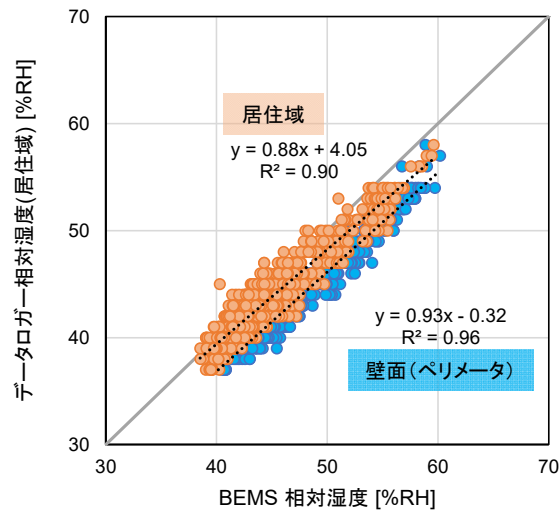


図 4-5 A ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の相対湿度散布図

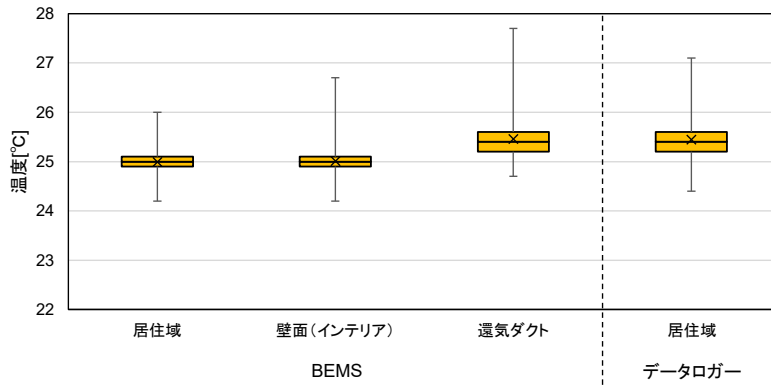


図 4-6 E ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの温度比較

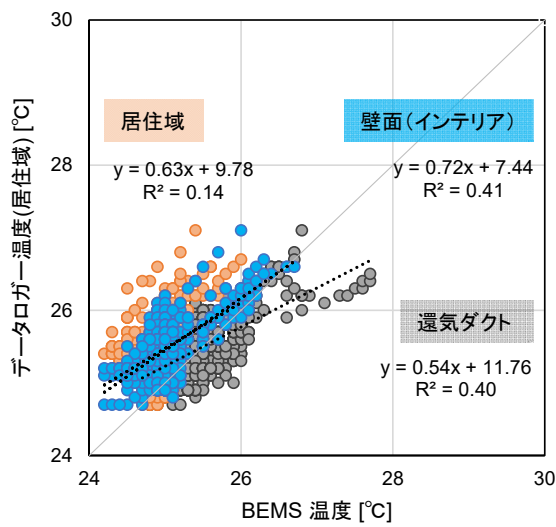


図 4-7 E ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の温度散布図

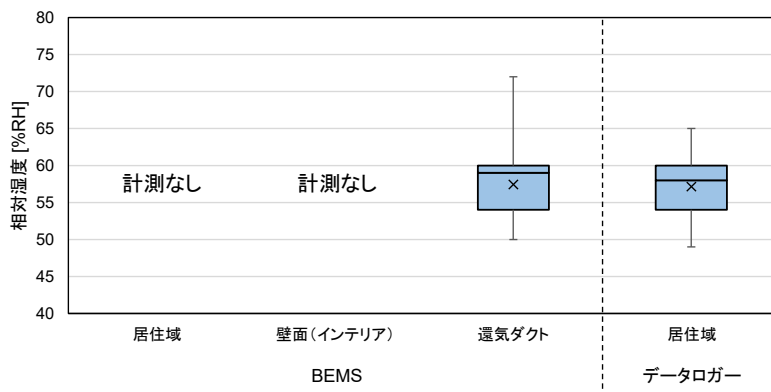


図 4-8 E ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの相対湿度比較

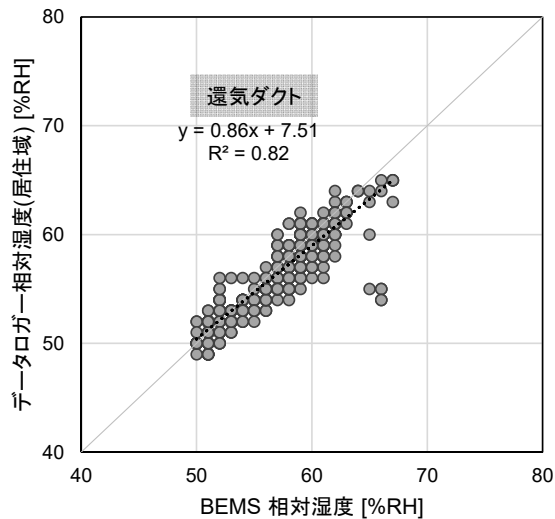


図 4-9 E ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の相対湿度散布図

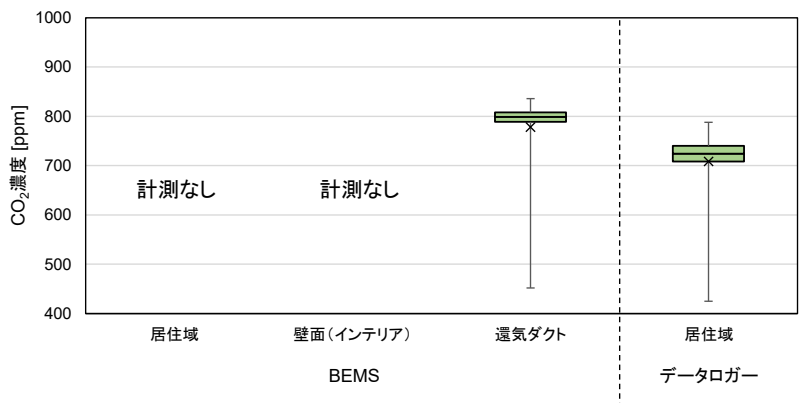


図 4-10 E ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの CO₂ 濃度比較

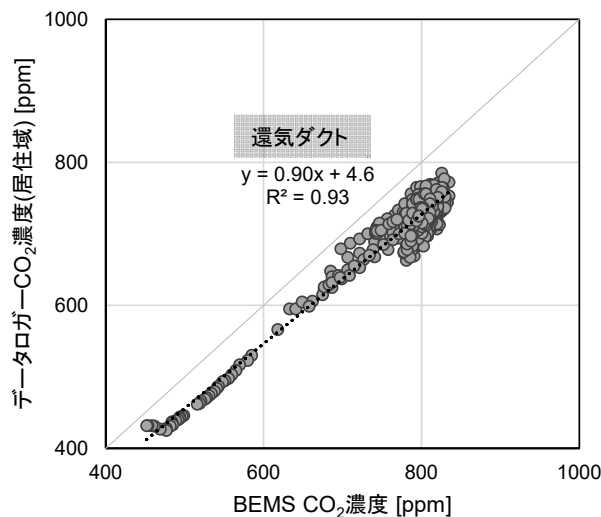


図 4-11 E ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の CO₂ 濃度散布図

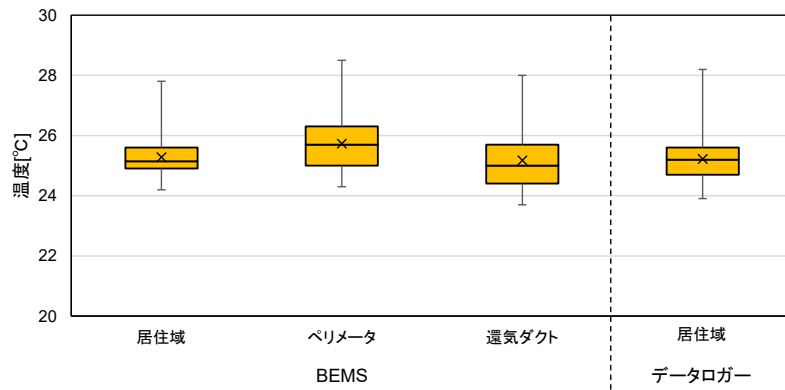


図 4-12 F ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの温度比較

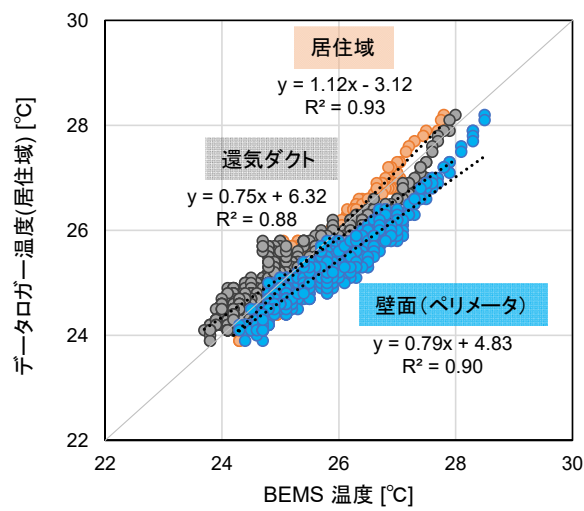


図 4-13 F ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の温度散布図

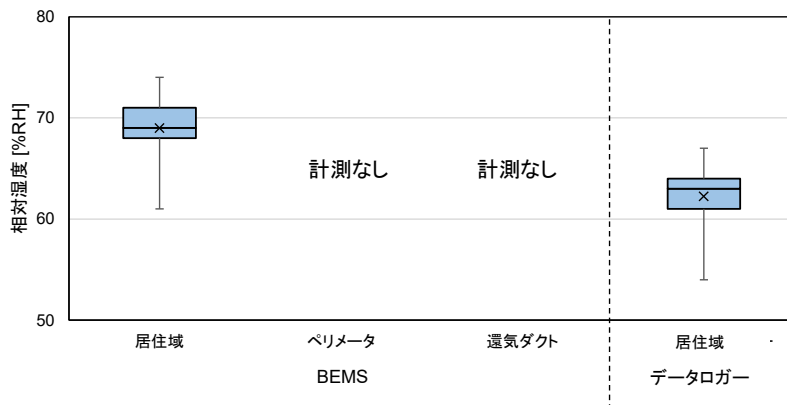


図 4-14 F ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの相対湿度比較

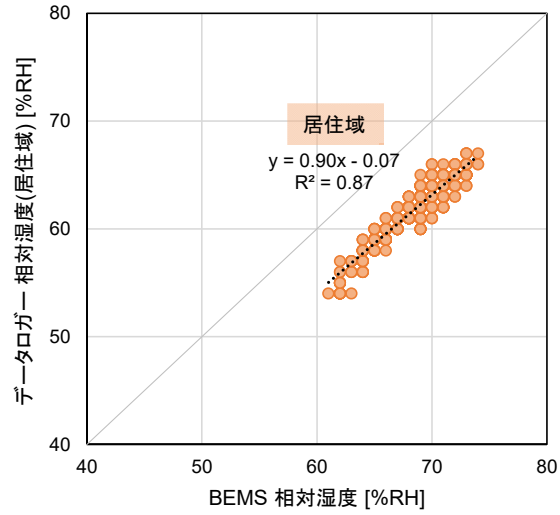


図 4-15 F ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の相対湿度散布図

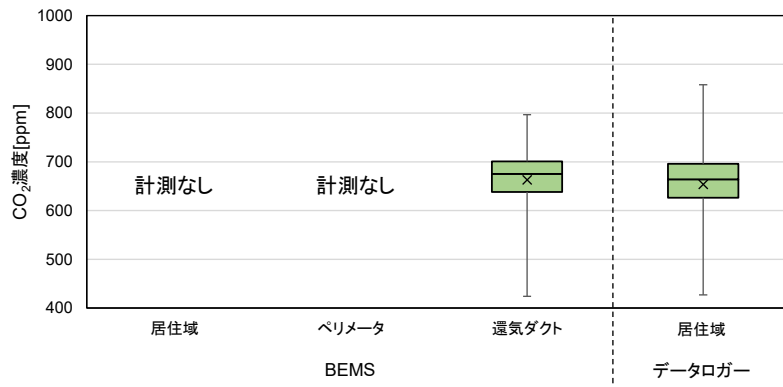


図 4-16 F ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの CO₂ 濃度比較

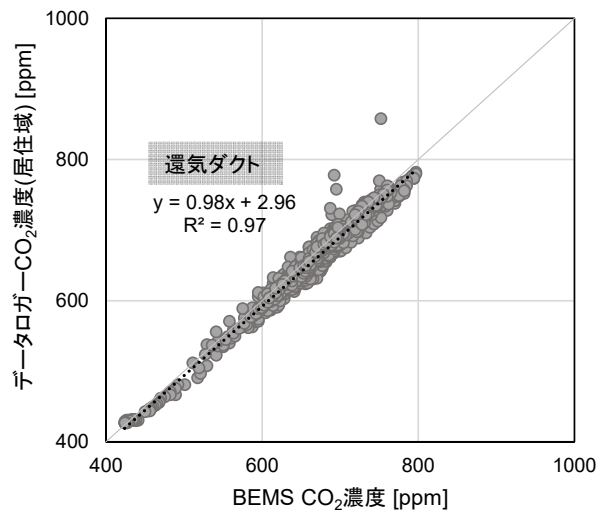


図 4-17 F ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の CO₂ 濃度散布図

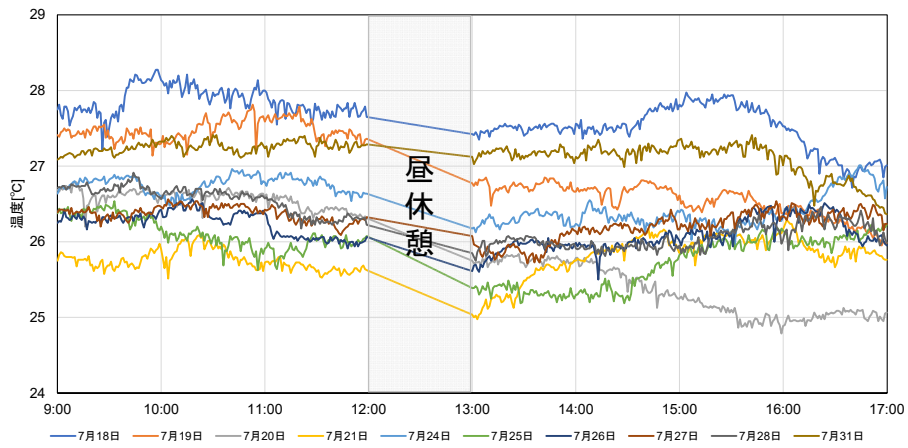


図 4-18 A ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動

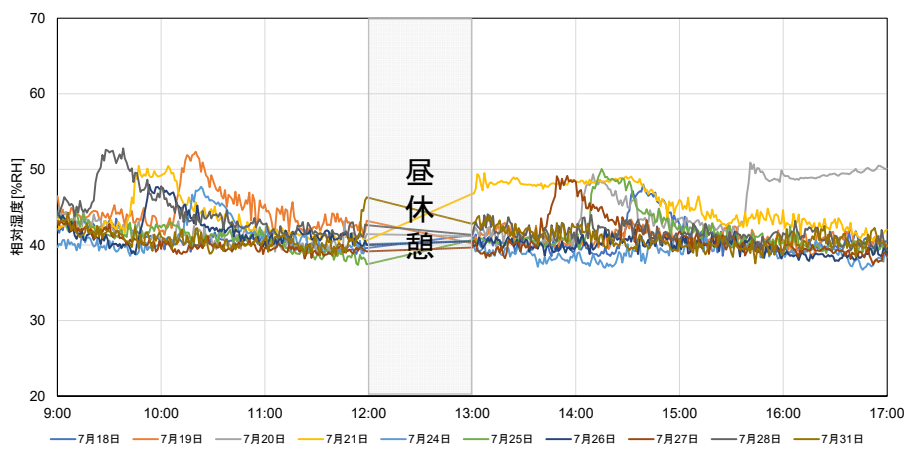


図 4-19 A ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動

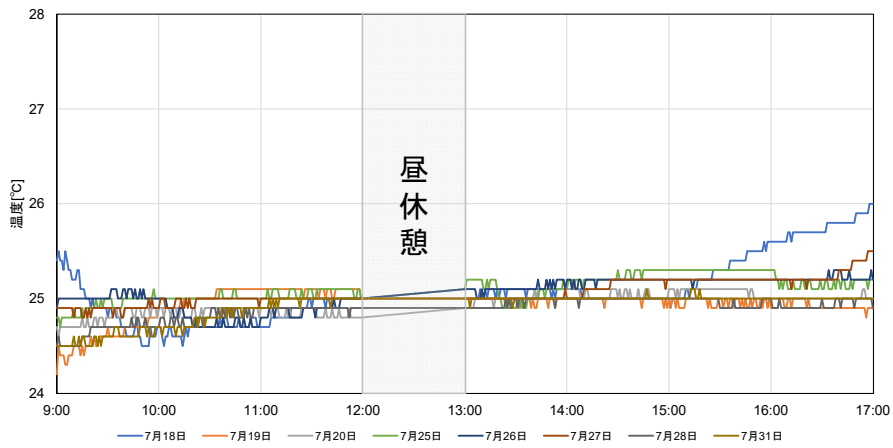


図 4-20 E ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動

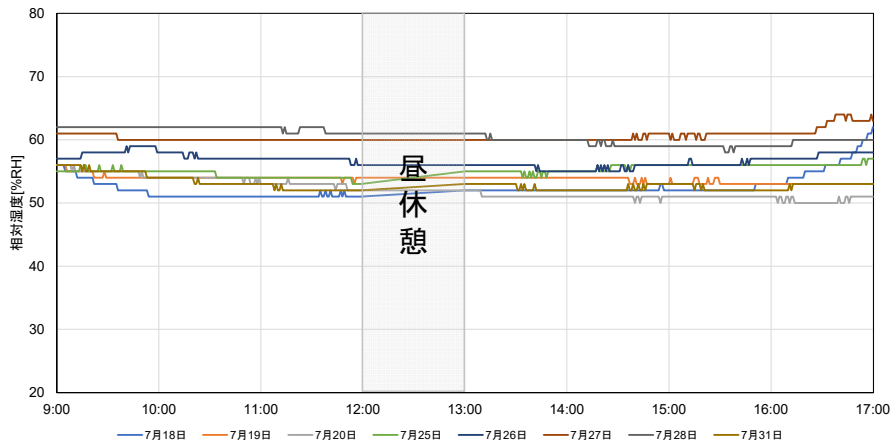


図 4-21 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の相対湿度時刻変動

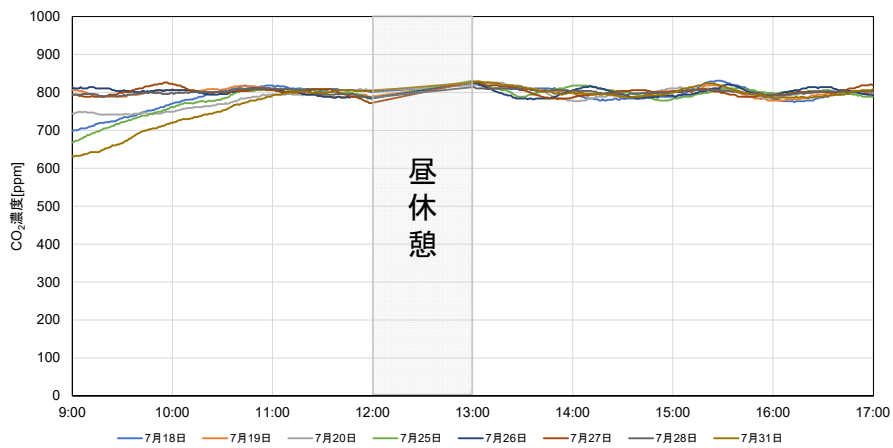


図 4-22 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO₂ 濃度時刻変動

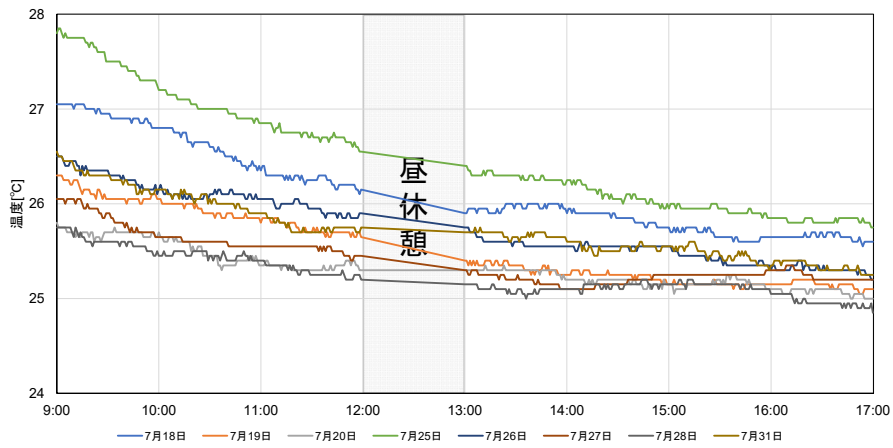


図 4-23 F ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動

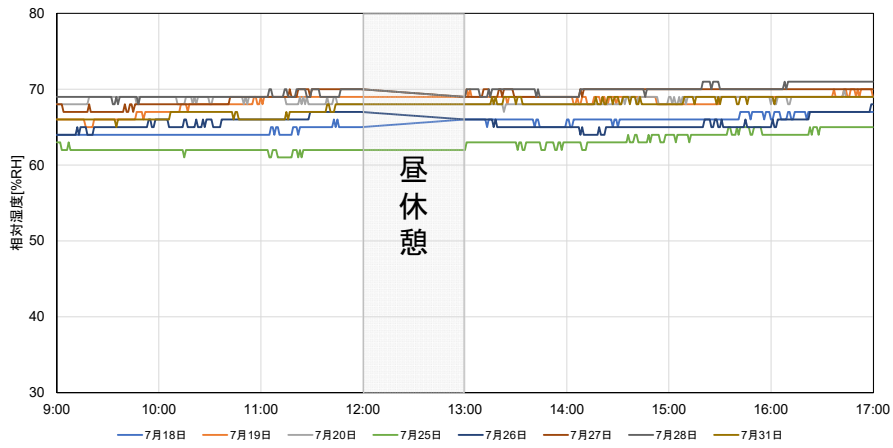


図 4-24 F ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動

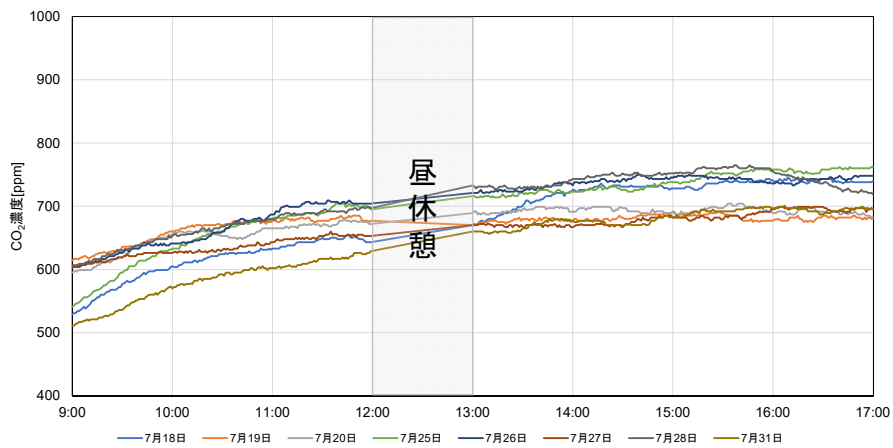


図 4-25 F ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO₂ 濃度時刻変動