

令和6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	東京科学大学	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

2023年の暖房期(1~2月)と冷房期(7月)、2024年3月以降のBEMSと自動計測センサによる温度・相対湿度・CO₂濃度の連続測定データが蓄積された2棟のオフィスビルを対象に、過去の厚生労働科学研究では実施できていなかった①中間期のBEMSと自動計測センサ測定の対応の検証、②1年経過後のBEMSと自動計測センサ測定の対応(経年変化)の検証を行った。

分析の結果、①中間期のBEMSセンサの温度・湿度・CO₂濃度は居住域の値から大きく外れることはないため、中間期のBEMSデータは空気環境管理に活用できる可能性が高いこと、②CO₂濃度はいずれの時期でもBEMSセンサの値と居住域の値が近くなるが、温度・相対湿度は暖房期のバラツキが大きくなりやすいため、BEMSデータを活用する上では暖房期に注意を払う必要があること、③経年変化の検証において、温度・相対湿度・CO₂濃度のいずれの値も経年による差は小さく、一度各環境要素のトレンドやセンサの個体差等を把握すれば、BEMSデータを環境管理に活用できる可能性が高いこと、が示された。

以上の分析を通して、過去に実施した単年の冷房期・暖房期のみを検証を補完することができ、BEMSデータの空気環境管理への活用可能性の知見が強化された。これまでは温度とCO₂濃度の活用を中心に考えており相対湿度はセンサの個体差が大きく活用は難しいと判断していたが、一度センサの挙動を掴んでさえしまえば1年後も同様の傾向を示していたため、BEMSによる相対湿度の管理も可能となることが期待される。

研究協力者
原山 和也 アズビル(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2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2棟のビルの基本情報を示す。2棟は同一敷地内にあり、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。Eビルは天井吹出・天井吸込であり、FビルはOAフロアを利用した床吹出・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で分類した結果を表4-2に示す。ビルによって測定項目と設置箇所は異なっていたため、各ビルの特徴を活かしながら、以降の検討を行った。当該ビルでは2023年の暖房期(1~2月)と冷房期(7月)および2024年3月以降のBEMSデータと居住域に設置した連続測定自動計測センサ(T&D社製おんどとりTR-76Ui)のデータを蓄積している。このデータを活用し、既報^{1,2)}では検討できなかった①中間期の空間分布の検証、②空間分布の経年変化の検証を行った。なお、データは勤務時間を考慮し、平日の9~17時(12~13時の昼休憩除く)を分析対象とした。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 中間期の空間分布に関する検討

(1) E ビル

図 4-2 に設置箇所別の BEMS センサの温度（横軸）と居住域の自動計測センサの温度（縦軸）の散布図を 3~10 月の月別に示す。結果の提示にあたり 3 月を暖房期、4~5、10 月を中間期、6~9 月を冷房期とした。いずれの時期もプロットが団子状に $y=x$ 近傍に集中しており、過去の検証^{1,2)}と同様の傾向が確認された。これは空調が天井吹出で、空気が攪拌されていたことが一因と考えられる。3~10 月の中では、3 月の暖房期のデータのバラツキが最大であり、中間期には良い対応関係が認められた。

図 4-3 に還気ダクトの BEMS センサと居住域の自動計測センサの相対湿度の散布図を示す。BEMS センサと自動計測センサの設置場所が異なっているものの、中間期と冷房期は良好な関連があった。一方で暖房期のバラツキは大きく、これは図 4-2 の温度のバラツキが他の時期に比べて大きかったことの影響が、相対湿度側にも波及したものと考えられる。特に低湿度側（BEMS の値で 40%RH 以下）で大きな乖離が見られた。

図 4-4 に還気ダクトの BEMS センサと居住域自動計測センサの CO₂ 濃度の散布図を示す。CO₂ 濃度については暖房期・中間期・冷房期のいずれにおいてもバラツキが小さく、BEMS 用のセンサから居住域の値を推定することが可能と考えられる。

(2) F ビル

F ビルは床吹出・天井吸込の空調方式であり、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 4-5 に、設置箇所別の BEMS センサと居住域自動計測センサの温度の散布図を示す。暖房期の 3 月は場所による差が顕著で、特に還気ダクト内の BEMS センサの温度が低い値を示していたが、中間期・冷房期になるにつれて、居住域の自動計測センサの値に近づいていった。F ビルは天井チャンバ方式となっており、非暖房空間である天井裏と暖房空間である室空間の空気がミキシングされ、温度が低くなっていた

と想定される。反対に、冷房期には天井裏が非暖房空間となるにもかかわらず、還気ダクトの BEMS センサの値が 26℃以上になる時間は僅かであり、ほぼ居住域と同様の温度を記録していた。従って、暖房期の温度の乖離にさえ注意すれば、BEMS センサのデータから居住域の値を推定することが可能と考えられる。

図 4-6 に居住域の BEMS センサと自動計測センサの相対湿度の散布図を示す。相対湿度は一貫して BEMS センサが高い値を示していたものの、値のズレは相対湿度の範囲に依らずに一律 5%RH 程度であるため、補正により BEMS のデータを十分に活用可能と考えられる。

図 4-7 に、還気ダクトの BEMS センサと居住域の自動計測センサの CO₂ 濃度の散布図を示す。10 月を除き、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。10 月のバラツキが大きいデータについては、当該ビルの担当者にヒアリングしたところ、10/10 に BEMS の CO₂ 濃度センサのゼロ点校正を実施したため、外れ値であることが確認された。本ビルでは CO₂ 濃度センサの定期的な校正を実施していることで良い測定精度を維持していると考えられ、測定機器の校正の重要性が示唆された。

4-3 空間分布の経年変化に関する検討

(1) E ビル

図 4-8 に、暖房期の BEMS センサと自動計測センサの温度の散布図の経年変化を示す。調査の都合上、2023 年 1~2 月と 2024 年 3 月の比較となり僅かに時期がずれているが、いずれの年もプロットが団子状になり、場所による差が小さい結果となっていた。図 4-9 に、冷房期の BEMS センサと自動計測センサの温度の散布図の経年変化を示すが、こちらも場所による差が小さく、1 年の期間での顕著な変化は確認されなかった。

図 4-10 に、暖房期の相対湿度の散布図の経年変化を示す。いずれの年でも BEMS センサが低い値を示す傾向があり、低湿度側での乖離が大きくなる現象が認められた。図 4-11 の冷房期の結果では、2024 年のデータが僅かに $y=x$ 上から外れたが、経年で大きな変化はなかった。

図 4-12 に、暖房期の CO₂ 濃度の散布図の経年変化を示す。2023 年 1 月の自動計測センサの設置当初はセンサ側の値が高くなっていたが、自動計測センサの自動校正がかかった後は $y=x$ のライン上に綺麗に位置していた。この傾向は、約 1 年後の 2024 年 3 月にも維持されており、 $y=x$ に沿った綺麗な対応関係が引き続き確認された。冷房期の経年変化を示した図 4-13 では、BEMS センサ側の方がやや高い値を示していたが、プロットの平行移動により居住域の値の推定が可能な範囲と考えられる。

(2) F ビル

図 4-14 に、暖房期の BEMS センサと自動計測センサの温度の散布図の経年変化を示す。2023 年と 2024 年で同様の傾向（居住域>ペリメーターゾーン>還気ダクト）を示し、やはり経年変化は小さいことが示唆された。図 4-15 に示す冷房期の結果も、ペリメーターゾーンにある BEMS センサの温度が僅かに高く、居住域と還気ダクトがほぼ同程度の値を示すという結果が両年とも得られた。

図 4-16 と図 4-17 に、暖房期と冷房期の相対湿度の散布図の経年変化を示す。両時期とも、一貫して BEMS センサの値の方が高いものの、補正が可能なレベルの誤差であることが確認された。一方で補正をせずに BEMS センサの値をそのまま使用すると、相対湿度の 40%以上 70%未満の判定を誤るリスクがあるため注意が必要である。

図 4-18 と図 4-19 には、暖房期と冷房期の CO₂ 濃度の散布図の経年変化を示す。CO₂ 濃度については居住域のセンサの値を還気ダクトの BEMS の値が正確に捉えていることから、補正をせずに BEMS の計測値を利用できる可能性があるが、前述の通り、センサの校正を定期的に行っている時の結果である点を念頭に置く必要がある。

4-4 BEMS データ活用の可能性

本章では、これまで 2 か年にわたって BEMS と小型センサによる連続測定データを取得してきた 2 棟のデータ分析を通じて、建築物の空気環境管理に対する BEMS データ（温度・相対湿度・CO₂ 濃度）の応用の可能性を検討した。

新たに、①中間期の検討、②経年変化の検討を加え、以下の成果が得られた。

- 1) 中間期の検証において、温度・相対湿度・CO₂ 濃度のいずれの指標も BEMS センサが居住域の数値から極端に外れることはないため、中間期の BEMS データは空気環境管理に対して利用できる可能性が高い。
- 2) 月別の比較において、冷房期・中間期と比較して暖房期の温度・相対湿度はバラツキが大きくなりやすい。従って、BEMS センサの活用を考える際には、暖房期の扱いに注意を払う必要がある。特に、ペリメーターゾーンで測定した BEMS センサを使用する際には、建物外皮起因の熱負荷（日射熱・熱貫流）や空調方式、空調ゾーンングを考慮した補正が必要になる。また還気ダクトの BEMS センサを使用する際には、還気方式（ダクト直結 or 天井チャンバ）について情報を収集しておくことが重要である。
- 3) 月別の比較において、CO₂ 濃度は還気ダクトに設置されたセンサであっても、時期を問わず居住域の値と良好な対応関係が確認されたため、空気環境管理に対する活用が特に期待される。しかし、定期的な校正による精度管理が重要であることを強調したい。
- 4) 経年変化の検証において、温度・相対湿度・CO₂ 濃度のいずれの値も経年による差は小さく、一度トレンドさえ把握してしまえば、環境管理に活用できる可能性が高い。

以上のような BEMS データの分析を通して、暖房期の扱いに注意が必要であるものの、BEMS データの空気環境管理への活用可能性が示唆された。これまで相対湿度はセンサの個体差が大きく活用は難しいと判断していたが、一度個体差やセンサの癖を掴んでおきさえすれば、1 年後も同様の傾向を示していたため、BEMS による相対湿度の管理も可能となると期待される。本分析は、未だやや定性的な考察になっているため、今後は二乗平均平方根誤差（RMSE）等の指標を用いながら、より定量的な結果の解釈を加えていく予定である。更に、BEMS 活用をする前提に立って、蓄積されたデータの詳細な分析を行うことで、実際に BEMS を空気環境管理に活用する上での注意点について纏めていく必要がある。

E. 参考文献

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；2023.9；福井. pp.189-192.

2) 海塩渉、鍵直樹、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3報）ビルエネルギーマネジメントシステム活用による暖冷房期の空気環境管理、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集；2024.9；佐賀. pp.117-120.

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

海塩渉、鍵直樹、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3報）ビルエネルギーマネジメントシステム活用による暖冷房期の空気環境管理、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集；2024.9；佐賀. pp.117-120.

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
E	神奈川県藤沢市	AHU	天井	天井	閉	2023/1~2, 2023/7, 2024/3~10
F	神奈川県藤沢市	AHU+窓際 FCU	床	天井	閉	2023/1~2, 2023/7, 2024/3~10

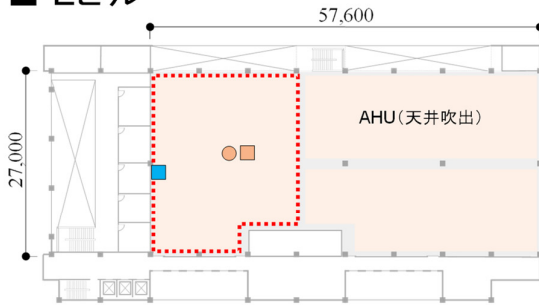
※ AHU (Air Handling Unit) : 空気調和機、FCU (Fan Coil Unit) : ファンコイルユニット

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	
E	○	○	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○
F	○	—	○	○	○	—	—	—	—	—	—	○

※ I : インテリア、P : ペリメータ

■ Eビル



■ Fビル

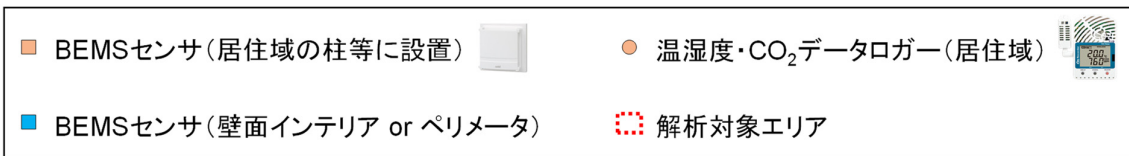
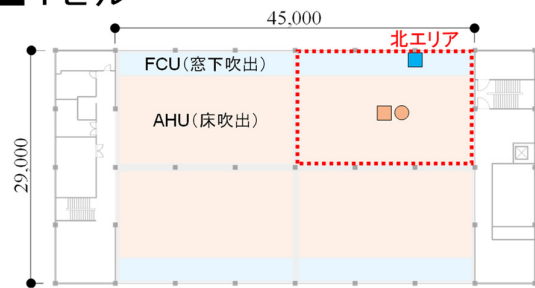


図 4-1 各ビル解析対象エリアとのセンサ設置箇所

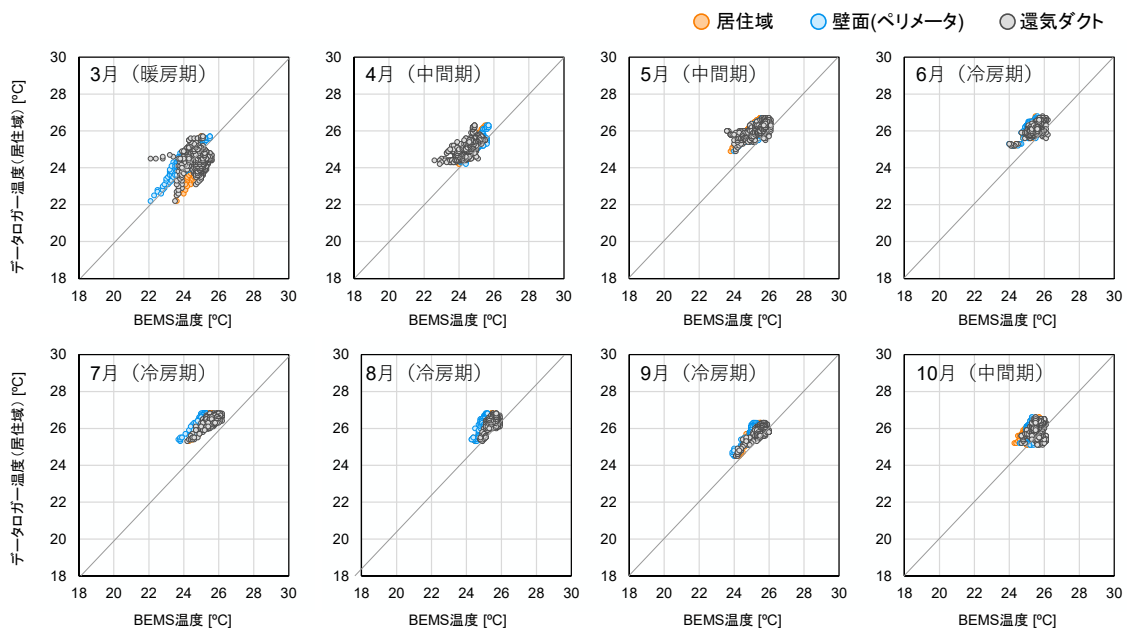


図 4-2 Eビルの BEMS センサ (横軸) と自動計測センサ (縦軸) の温度散布図

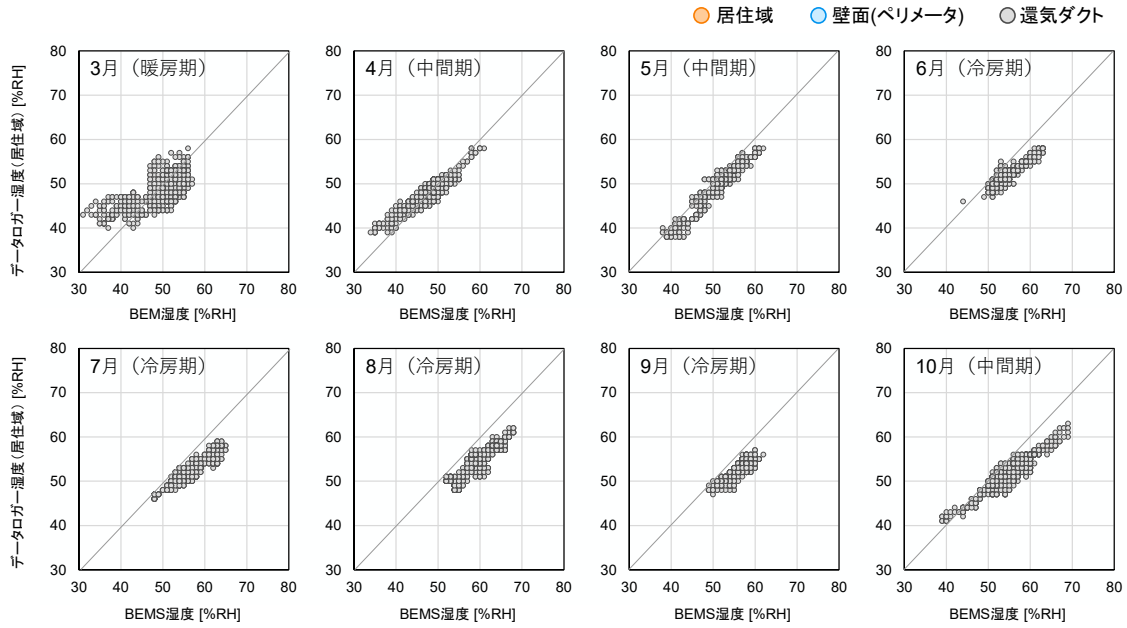


図 4-3 E ビルの BEMS センサ (横軸) と自動計測センサ (縦軸) の相対湿度散布図

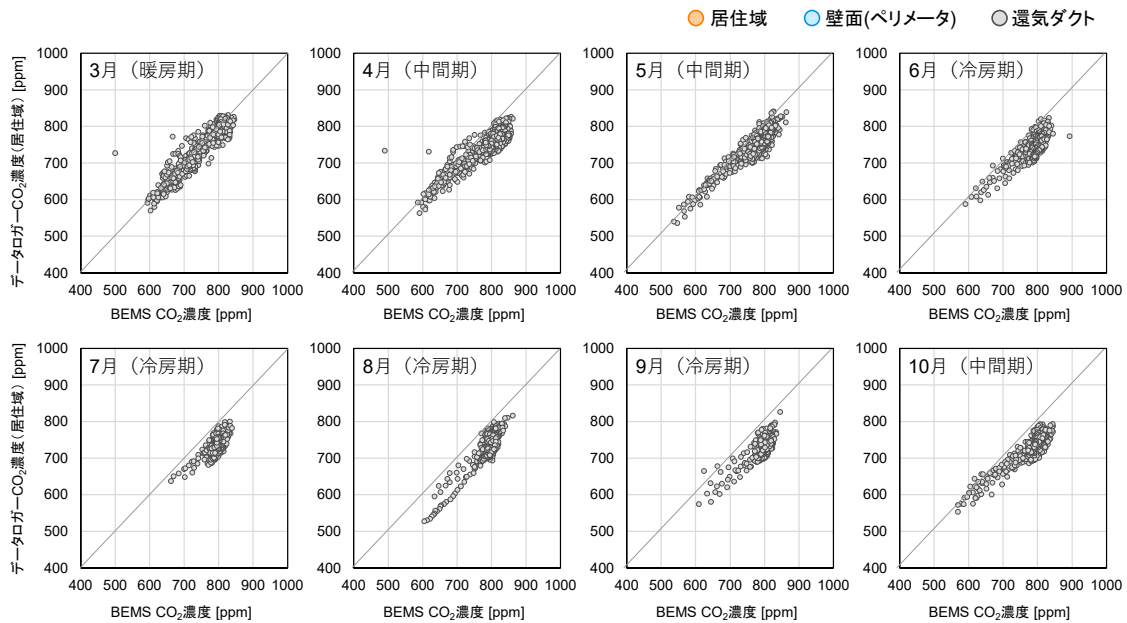


図 4-4 E ビルの BEMS センサ (横軸) と自動計測センサ (縦軸) の CO₂ 濃度散布図

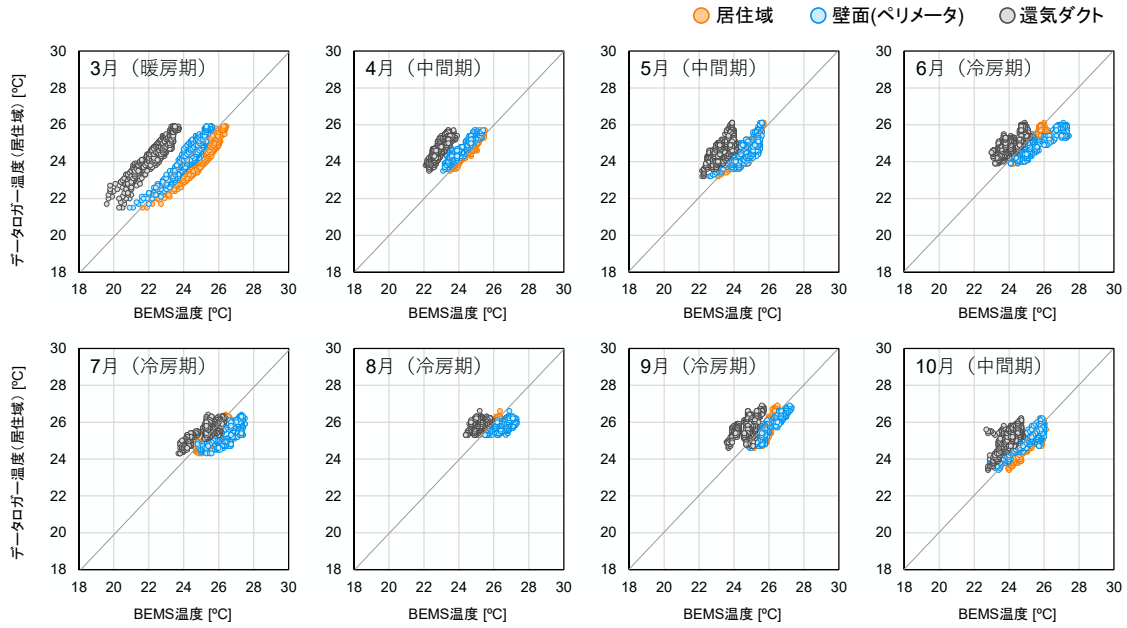


図 4-5 F ビルの BEMS センサ (横軸) と自動計測センサ (縦軸) の温度散布図

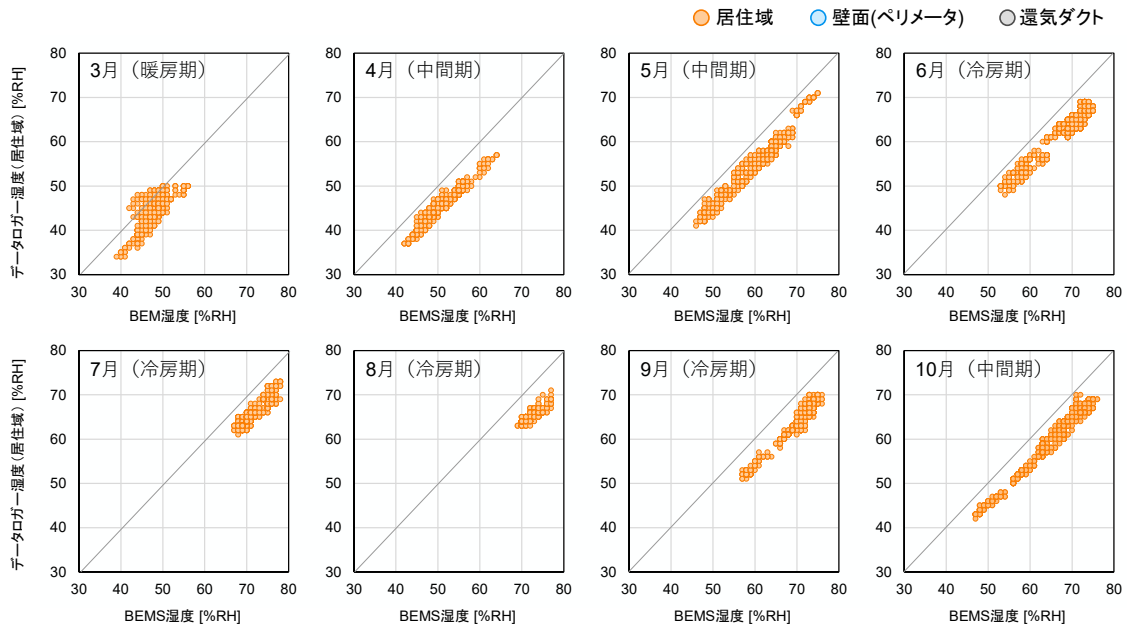


図 4-6 F ビルの BEMS センサ (横軸) と自動計測センサ (縦軸) の相対湿度散布図

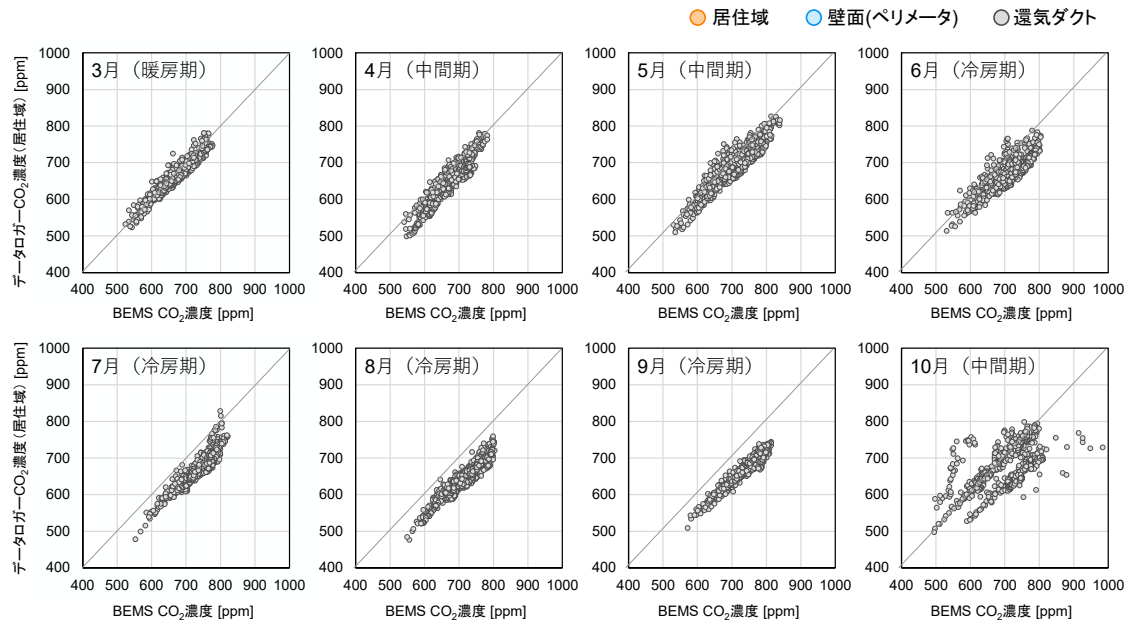


図 4-7 F ビルの BEMS センサ (横軸) と自動計測センサ (縦軸) の CO₂ 濃度散布図

■ 暖房期

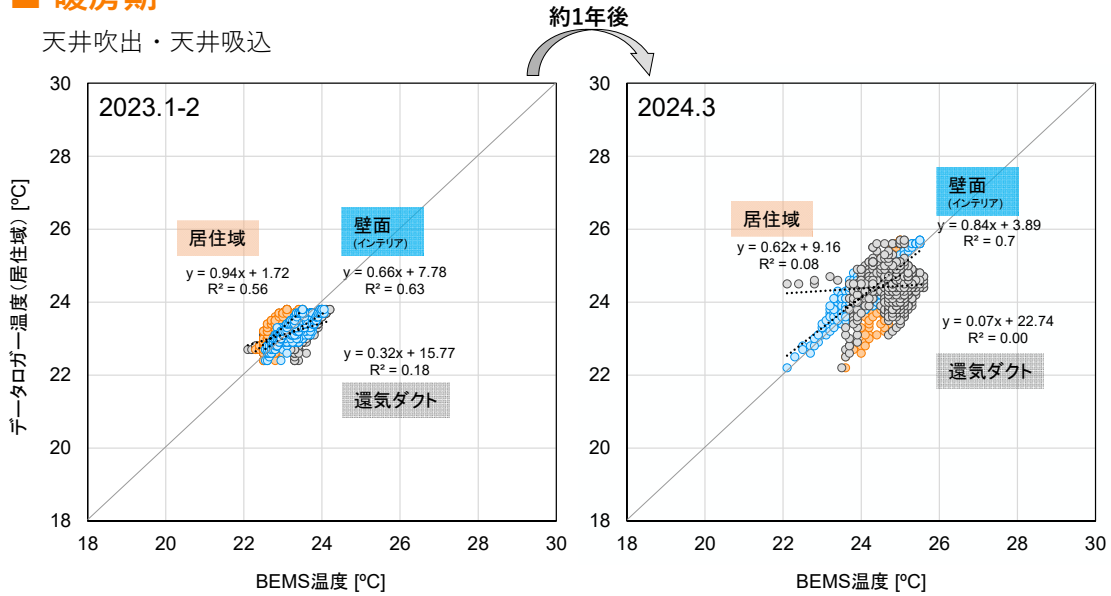


図 4-8 E ビルの BEMS センサと自動計測センサの温度散布図の経年変化 (暖房期)

■ 冷房期

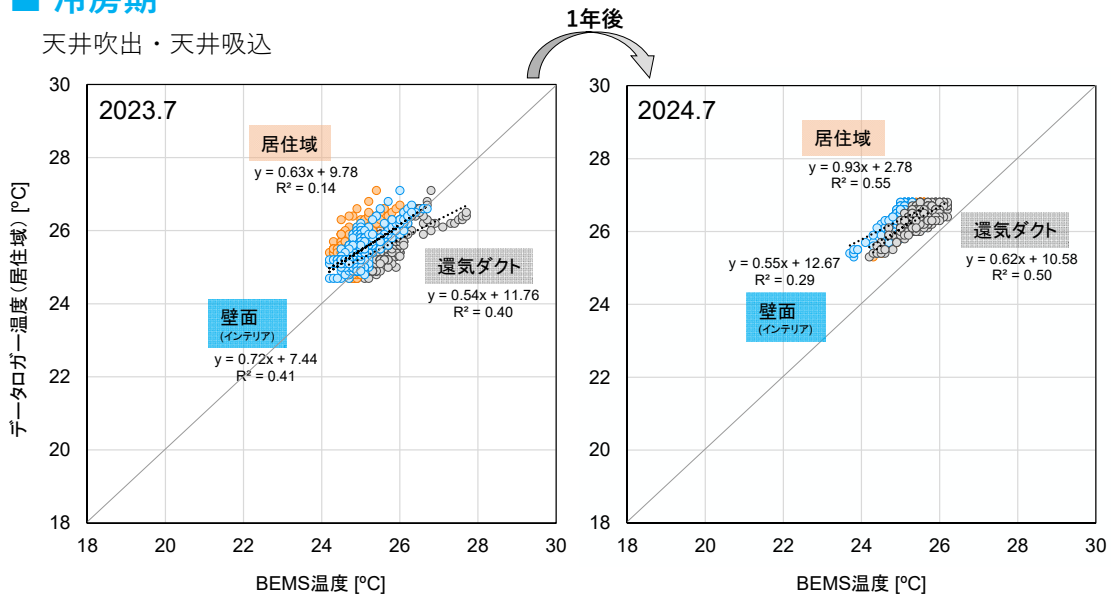


図 4-9 E ビルの BEMS センサと自動計測センサの温度散布図の経年変化 (冷房期)

■ 暖房期

天井吹出・天井吸込

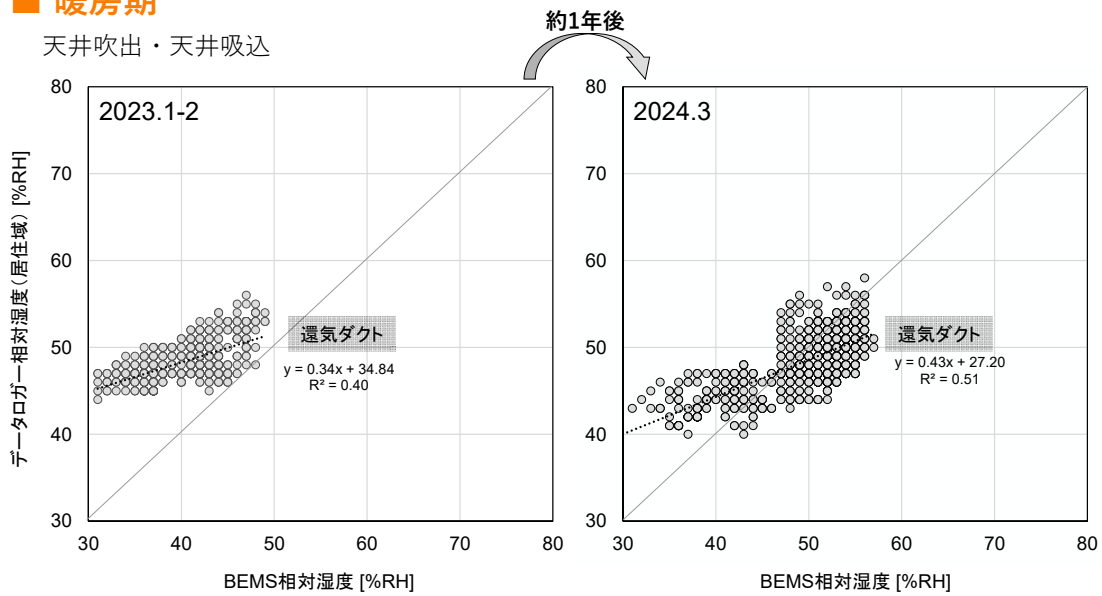


図 4-10 E ビルの BEMS センサと自動計測センサの相対湿度散布図の経年変化 (暖房期)

■ 冷房期

天井吹出・天井吸込

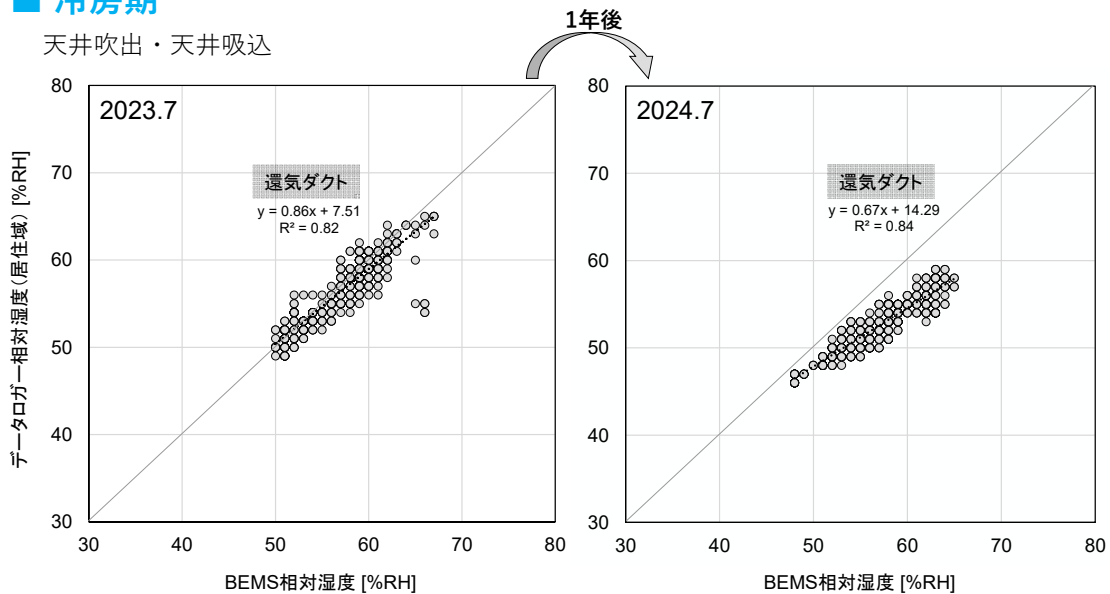


図 4-11 E ビルの BEMS センサと自動計測センサの相対湿度散布図の経年変化 (冷房期)

■ 暖房期

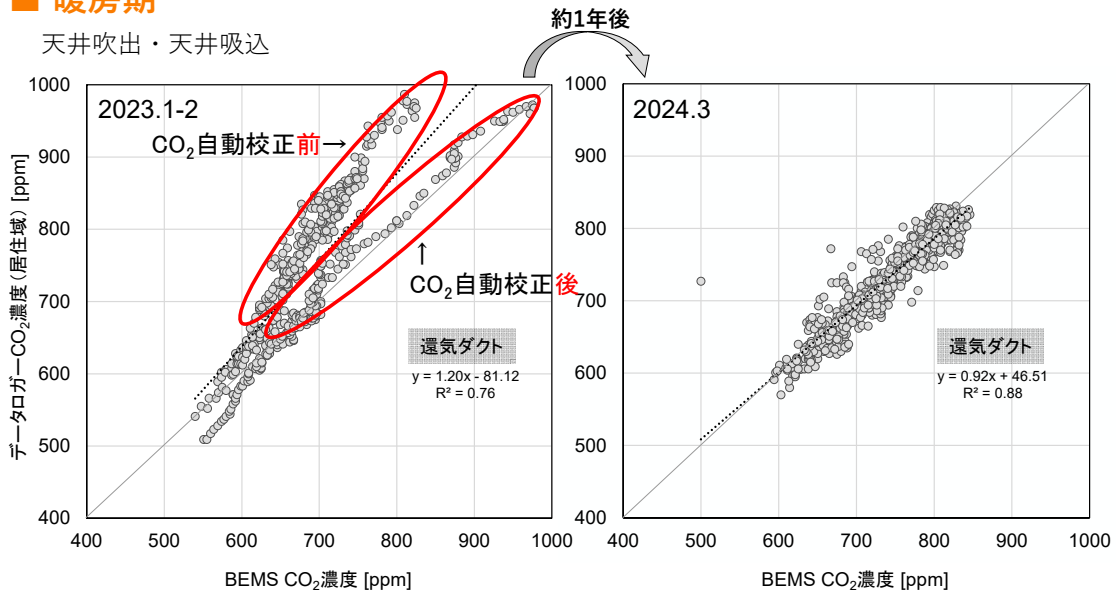


図 4-12 E ビルの BEMS センサと自動計測センサの CO₂ 濃度散布図の経年変化 (暖房期)

■ 冷房期

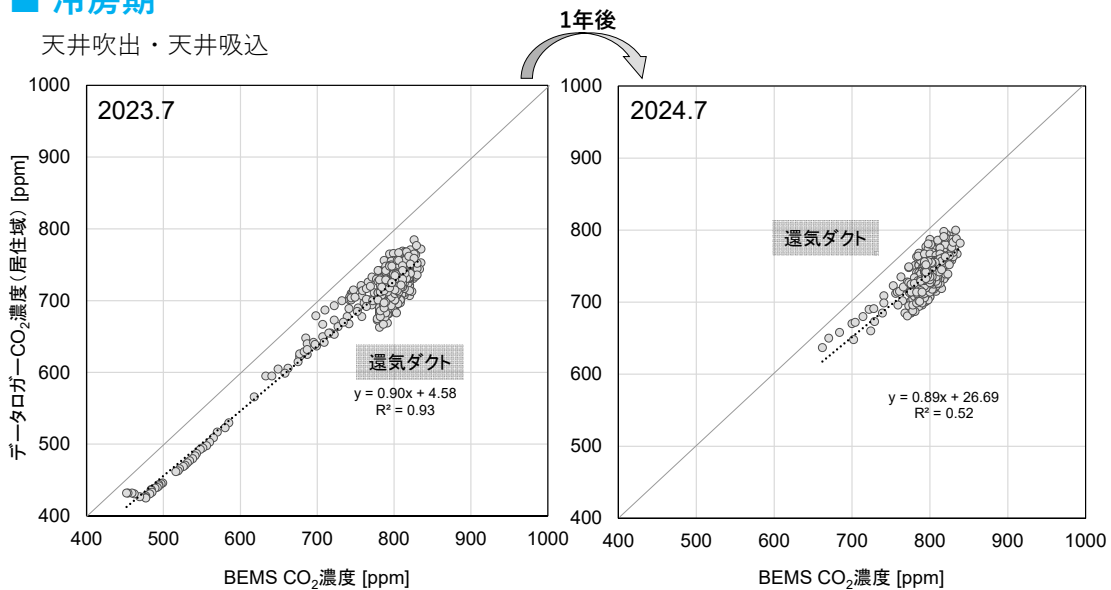


図 4-13 E ビルの BEMS センサと自動計測センサの CO₂ 濃度散布図の経年変化 (冷房期)

■ 暖房期

床吹出・天井吸込（ペリメータ-FCU）

約1年後

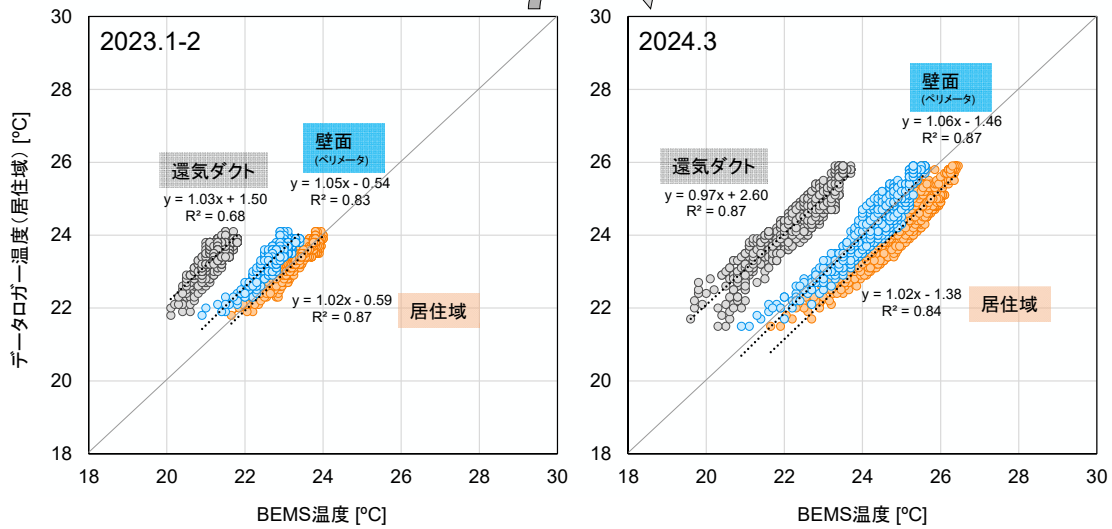


図 4-14 F ビルの BEMS センサと自動計測センサの温度散布図の経年変化（暖房期）

■ 冷房期

床吹出・天井吸込（ペリメータ-FCU）

1年後

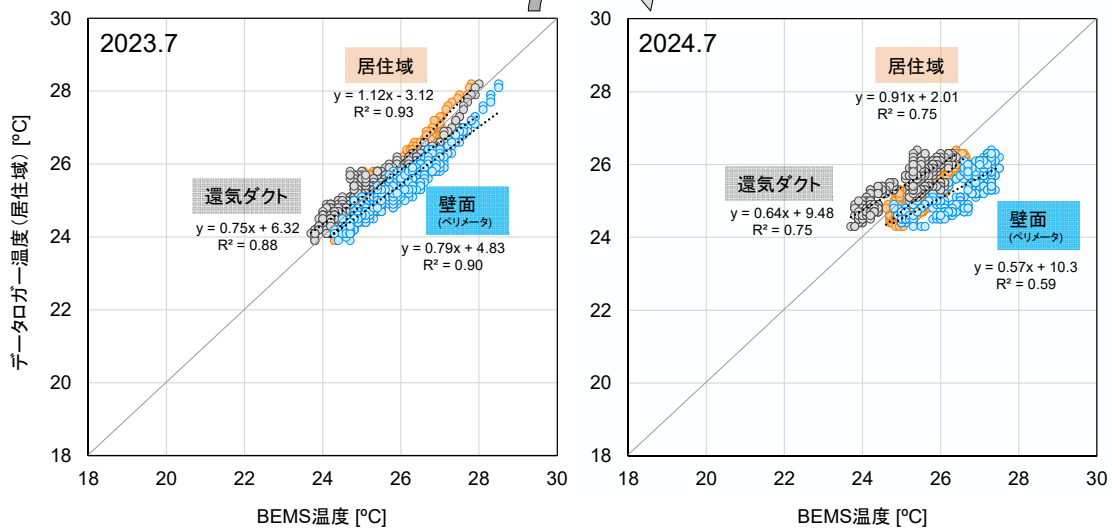


図 4-15 F ビルの BEMS センサと自動計測センサの温度散布図の経年変化（冷房期）

■ 暖房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

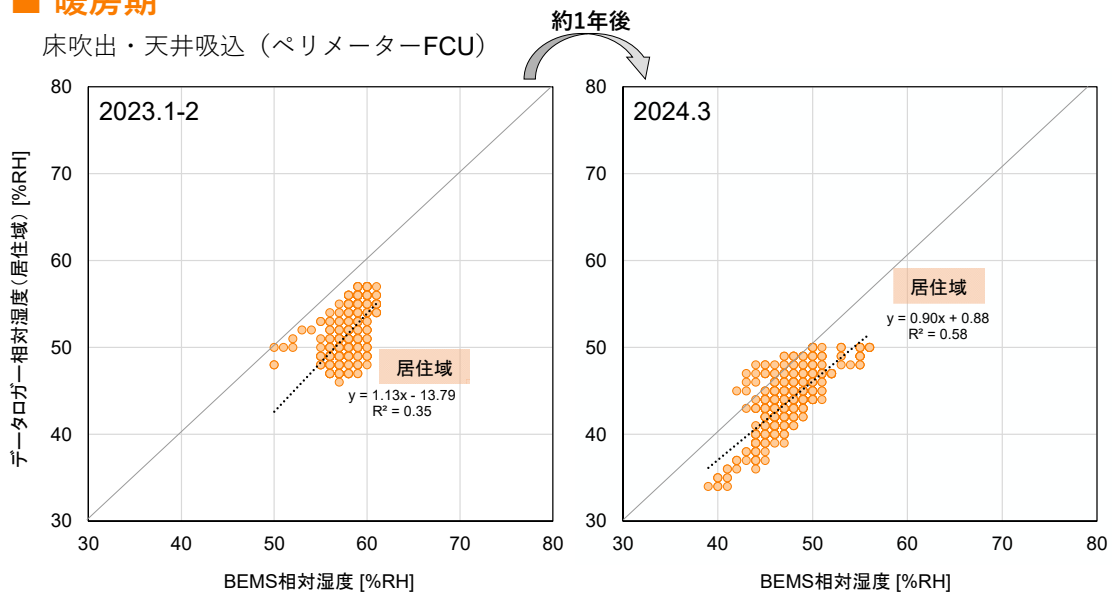


図 4-16 F ビルの BEMS センサと自動計測センサの相対湿度散布図の経年変化（暖房期）

■ 冷房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

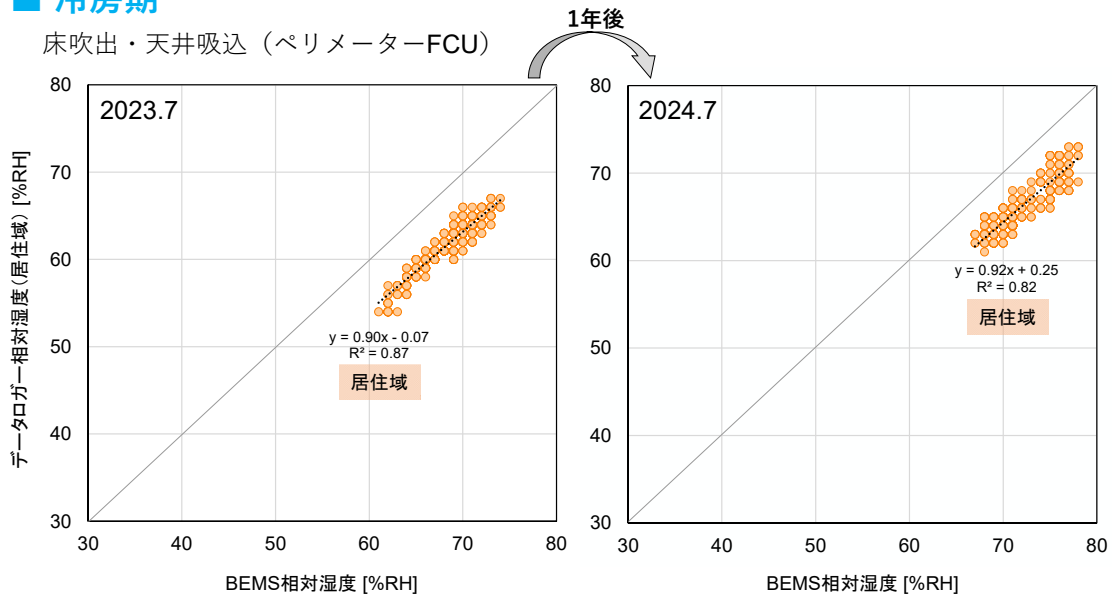


図 4-17 F ビルの BEMS センサと自動計測センサの相対湿度散布図の経年変化（冷房期）

■ 暖房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

約1年後

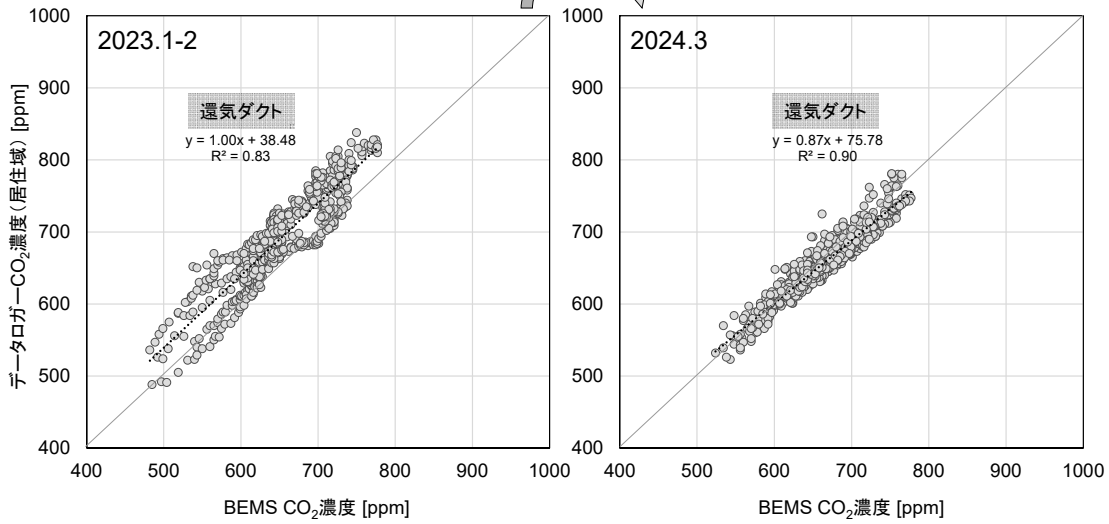


図 4-18 F ビルの BEMS センサと自動計測センサの CO₂ 濃度散布図の経年変化（暖房期）

■ 冷房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

1年後

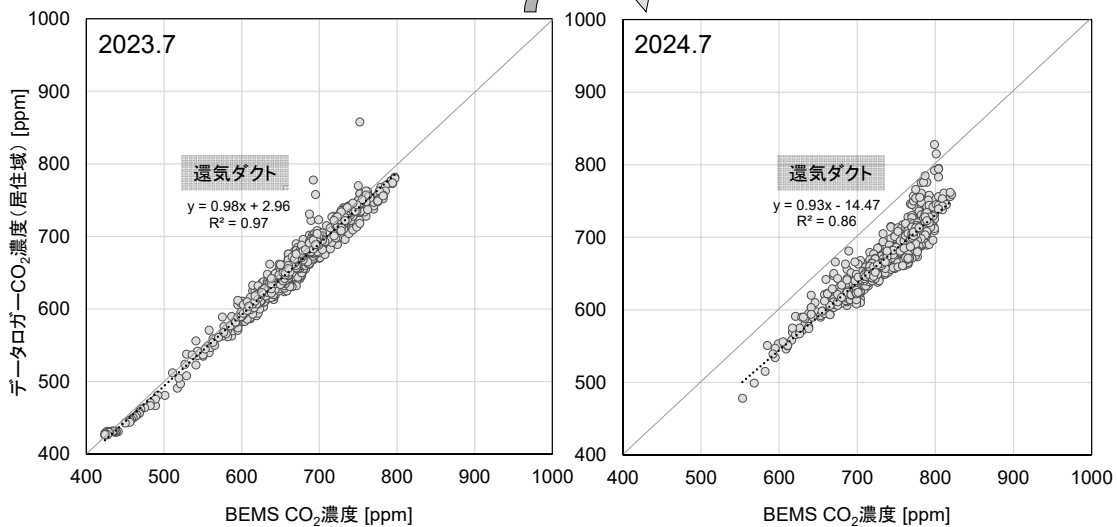


図 4-19 F ビルの BEMS センサと自動計測センサの CO₂ 濃度散布図の経年変化（冷房期）