

令和6年度～令和7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

現在の建築物環境衛生管理では、2ヶ月以内に1回の立入り測定が行われている。本研究では、建築物に常設された BEMS センサの連続測定データを空気環境の管理に活用し、従来手法と同等、あるいはそれを上回る新たな空気環境管理手法となり得るかを検証することを目的とした。

関東地方で BEMS を導入したオフィス3棟を対象に、温度、相対湿度、CO₂濃度を測定した。BEMS センサの設置箇所（居住域、壁面、還気ダクト）による違いや季節の影響を評価するため、居住域に設置したデータロガーの値を基準に、暖房期・冷房期・中間期を含む実データを分析した。

BEMS の高時間解像度データによって、環境基準を逸脱する場合の原因特定や、逸脱時間割合を指標とした詳細な環境評価が可能となった。空間・季節変動の分析では、冷房期や中間期の温湿度、および CO₂濃度は、センサの設置箇所にかかわらず居住域の値を良好に捕捉もしくは推定できた。暖房期の温度には設置箇所による差異が、湿度にはセンサ個体差による一定のズレが見られたが、これらは特性を把握することで補正可能と示唆された。経年変化の検討では、温湿度の劣化は軽微であったものの、CO₂センサは1年間で約100ppmの誤差が生じ、定期校正の重要性が示された。

BEMS を活用した管理手法は、人手不足が叫ばれる建築物環境衛生管理業界において、業務効率化に大きく寄与する。一方、実用化に向けては、①浮遊粉じん等、BEMS で通常取得しない管理項目への対応（測定頻度の緩和など）、②センサ未設置部屋が存在することに伴う管理単位の再考、③連続データに基づく評価指標の確立、④CO₂センサ等の定期的な校正頻度の規定、という4つの課題を整備する必要がある。本研究の成果は、デジタル技術を活用した次世代の空気環境管理に向けた重要な第一歩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）
塩見 真衣 ダイダン（株）

A. 目的

本研究では、BEMS データの建築物環境衛生管理への活用方法について、令和4～5年度の「IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究（22LA1010）」を含めて4年間検討を重ねてきた。検討の趣旨は、通常空調設備の自動制御のために使用される BEMS に紐づくセンサ（以降 BEMS センサ）のデータを、空気

環境の管理にも有効に活用していくというものである。常設されている BEMS センサは連続測定をしているため、2か月以内に1回、午前と午後にスポットで測定をする従来の空気環境管理手法に比べてデータの時間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を目的とした。

B. 方法

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、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、分析を行った。データ収集期間は、暖房期（1～2月）と冷房期（7月）を中心とし、EビルとFビルでは年間を通じた収集を行った。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。

C. 結果

(1) 連続測定による時刻変動の検討

BEMS センサの長所である高時間解像度を活用した分析事例（Aビルの温度）を図4-2に示す。当該ビルでは温度がほとんどの時間帯で18～28℃の範囲に収まったものの、冬には明け方に18℃を下回り、夏には28℃を超過した。この時間帯のデータを確認すると、いずれも連休明けであることが分かり、建物の蓄熱の影響が一因と推察された。これは環境基準を逸脱した場合に、連続測定であるからこそ原因が特定できた好事例と言える。

図4-3に同じAビルの相対湿度の時刻変動を示す。暖房期と冷房期ともに、相対湿度が基準の40～70%RHの範囲に収まっている時間帯と40%RHを下回っている時間帯が確認された。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）は、暖房期81.4%、冷房期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「0 or 1」の判断になるが、BEMSの連続測定では「逸脱時間割合0～100%」というように、空気環境の良し悪しをグラデーションで判断できることは極めて有益である。

(2) 暖房期と冷房期の空間分布の検討

図4-4に居住域に置いた小型データロガーの温度を縦軸に、各設置箇所のBEMSセンサの温度を横軸にとった散布図を示す。左の暖房期について、居住域の小型データロガーとBEMSセンサは良好な対応を見せた一方、ペリメータ壁面、還気ダクト設置のBEMSセンサは $y=x$ から左に平行移動する対応関係を見せていた。従って、このような場所ごとの特性（補正係数）を予め把握しておけば、ペリメータ壁面や還気ダクト設置のBEMSセンサであっても、居住域の値を推定可能であると言える。右の冷房期については暖房期と比較して場所ごとの差が見られなかった。このように季節によってBEMSセンサの示す値の挙動が異なるため、年間を通してセンサが検知する環境の挙動を捉えていくことが重要である。

図4-5にFビルの相対湿度の散布図を示す。同じ居住域の近接した位置に設置した両センサであったが、BEMSセンサの方が一貫して高い値を取っていた。このようなセンサ種別や個体差も考慮が必要である。

図4-6にFビルのCO₂濃度の散布図を示す。居住域に設置したデータロガーと還気ダクトに設置したBEMSセンサが良好な対応を示していた。このように環境項目によっては、センサの設置箇所に依存せず、居住域の値を推定せざるも居住域に近い値を取得できるという好事例である。

(3) 中間期を含む空間分布の検討

上記で、年間を通じた検証が必要と示唆されたため、図4-7にFビルの3月から10月までの月ごとの温度の散布図を示す。中間・冷房期はプロットが $y=x$ に集中したが、暖房期の3月は、図4-4と同様の場所によるバラツキが見られた。従って、暖房期のBEMSセンサの温度の扱いに注意が必要であるが、反対に中間・冷房期はセンサの設置箇所に依らずに居住域に近い値を示す可能性がある。

図 4-8 に示す F ビルの相対湿度の月別散布図でも、BEMS センサが高い値を示す図 4-5 と同様の傾向が一貫して確認され、値のズレは一律で 5%RH 程度であった。従ってこのズレも補正可能と考えられる。

図 4-9 に F ビルの各月の 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 月のデータが示した大きなバラツキについては後述する。

以上より、年間を通じた検討では、暖房期の温度（+温度に伴い変動する相対湿度）に注意が必要であるものの、冷房期や中間期の温湿度や CO₂ 濃度は居住域の値を把握ないし推定可能と示された。

(4) 空間分布の経年変化の検討

ここでセンサの劣化について検討すべく、図 4-10 から図 4-15 に、暖房期と冷房期のそれぞれについて、約 1 年経過後の温度、相対湿度、CO₂ 濃度の散布図を示す。いずれの指標についても、1 年経過後であっても居住域に設置したデータロガーと同等の対応を見せ、大きな劣化は認められなかった。しかし、このうち CO₂ 濃度については年に 1 回の手動校正を実施しており、その実施時期が図 4-9 で大きなバラツキが認められた 10 月であった。そこで、BEMS センサの手動校正当日（2024 年 10 月 10 日）とその前後の平日における、データロガー（自動校正機能 ON）と BEMS センサの CO₂ 濃度推移を図 4-16 に示す。校正前には約 100 ppm の誤差があったが、校正 5 日後の 10 月 15 日には、BEMS センサとデータロガーの差がほぼ消失し、CO₂ 濃度のレベルや挙動がほぼ一致していた。これより CO₂ 濃度計の校正タイミングは BEMS センサによる空気環境管理の上で規定しておく必要があると考えられる。

D. まとめ

本章では、令和 4~5 年度の「IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究（22LA1010）」と本課題を含む、過去 4 年間で得られた知見を代表的な図を示しつつ整理した。BEMS センサの時間解像度の高さを活かした空気環境管理は、従来の空気環境管理にない価

値を生む一方で、課題も浮かび上がってきた。以下に空気環境管理への BEMS 活用に向けた 4 つの課題点を整理する。

1) BEMS センサで取得しない項目への対応

今回の検討では、BEMS センサで取得することが一般的な温度・湿度・CO₂ 濃度を対象としたが、建築物衛生法に規定されている管理項目としては、その他にも浮遊粉じん・CO 濃度・気流（・ホルムアルデヒド）がある。今後仮に BEMS センサが空気環境管理に活用できるようになった場合でも、未測定項目を測定するために人手を要してしまつては本末転倒である。従って、この点に対して何らかの対策を打つ必要がある。幸い BEMS センサで取得していない浮遊粉じん・CO 濃度・気流（・ホルムアルデヒド）は不適率が 5%未満であるため、BEMS を導入しているビルについてはこれらの項目の測定回数を、2 ヶ月以内ごとに 1 回から緩和することも一考の余地がある。

2) BEMS センサが設置されない部屋への対応

今回データ収集をしたオフィスにおいても、BEMS センサが設置されていない部屋が散見され、複数部屋の還気ダクトにまとめて 1 つのセンサを設置する事例もあった。現状の建築物衛生法は部屋単位での測定が求められるため、BEMS センサを活用する場合にあっては、管理単位の再考が必要である。

3) 測定データの評価指標の確立

BEMS では時間解像度が高いため、平均値以外にも様々な指標を算出可能である。様々な指標の中でどの指標を代表として評価するのか、もしくは複数の指標で複合的に評価するのか等、検討が必要である。反対に指標さえ定まれば、BEMS から自動で当該指標を算出して、自動でレポート作成することも可能と考えられるため、人手不足が著しい建築物衛生管理業務の効率化に繋がる一手となり得る。

4) センサの経年劣化への対応

今回の検討では温湿度センサの劣化はあまり認められなかったものの、CO₂ 濃度センサのズレは 1 年で 100 ppm に達していた。従って、センサの校正頻度についての規定は必須であり、BEMS を活用する場合にはその点の整備が求められる。

このような課題を残しつつも、人口減少社会、人手不足が叫ばれる建築物衛生管理業界においてデジタル技術の活用は必須事項と考えられ、本研究課題での取り組みが BEMS 活用の第一歩になることが期待される。

E. 参考文献

なし

F. 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；2023.9；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.

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	データ分析期間
A	埼玉県三芳町	AHU+水冷 PAC	床	天井	閉	2023/1, 2023/7
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

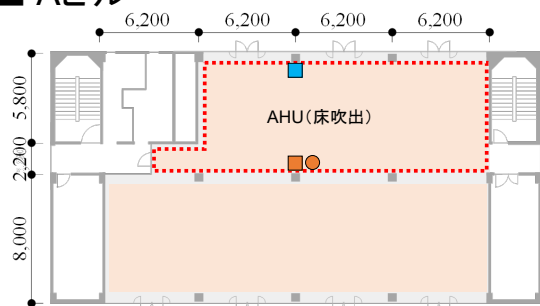
※ AHU (Air Handling Unit) : 空気調和機、FCU (Fan Coil Unit) : ファンコイルユニット
PAC (Package Air Conditioner) : パッケージエアコン

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

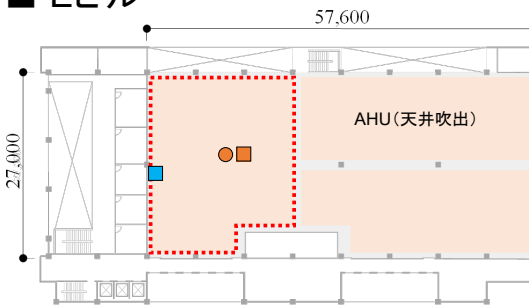
ID	温度				相対湿度				CO ₂ 濃度			
	居住域	壁面		還気ダクト	居住域	壁面		還気ダクト	居住域	壁面		還気ダクト
		I	P			I	P			I	P	
A	○	—	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
E	○	○	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○
F	○	—	○	○	○	—	—	—	—	—	—	○

※ I : インテリア、P : ペリメータ

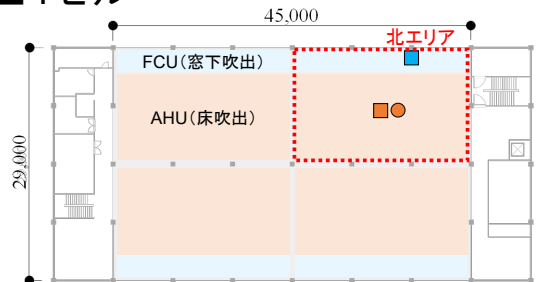
■ Aビル



■ Eビル



■ Fビル



- BEMSセンサ(居住域の柱等に設置)
- BEMSセンサ(壁面インテリア or ペリメータ)
- 温湿度・CO₂データロガー(居住域)
- ⋯ 解析対象エリア

図 4-1 各ビル解析対象エリアとのセンサ設置箇所

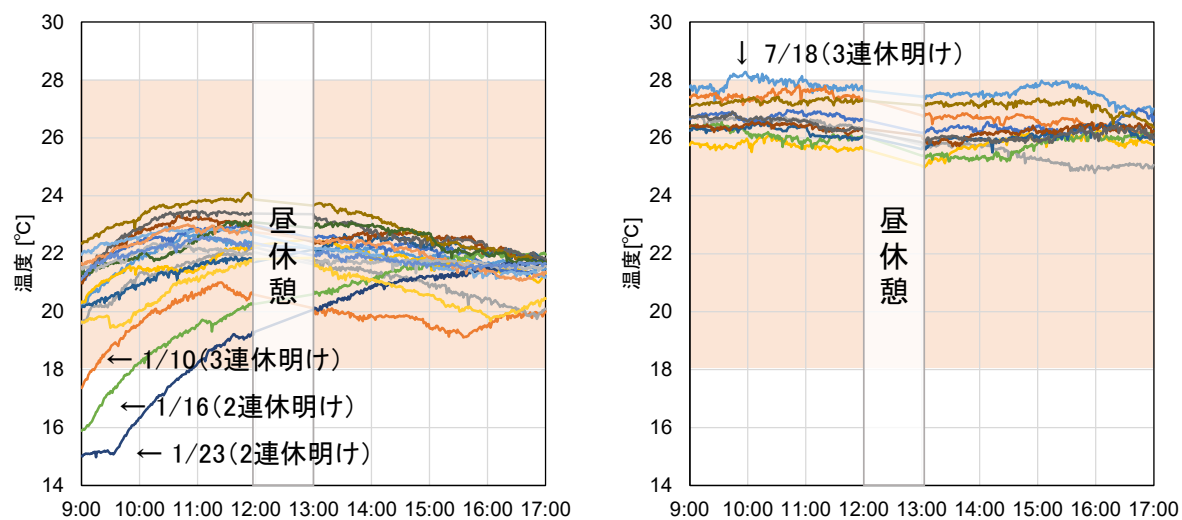


図 4-2 A ビルの BEMS センサ（居住域）の温度時刻変動
（左：暖房期 2023/1、右：冷房期 2023/7）

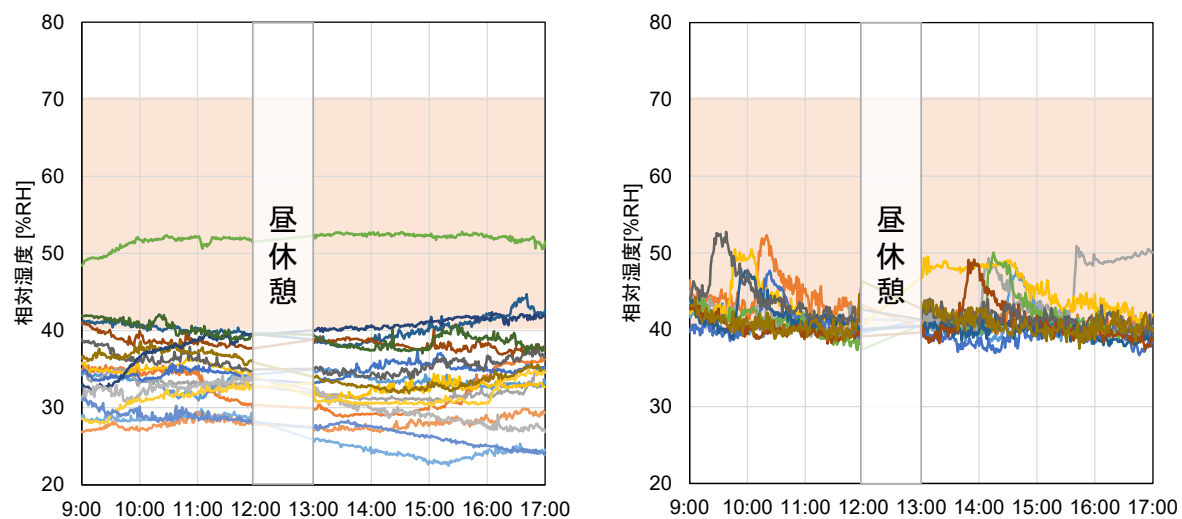


図 4-3 A ビルの BEMS センサ（居住域）の相対湿度時刻変動
（左：暖房期 2023/1、右：冷房期 2023/7）

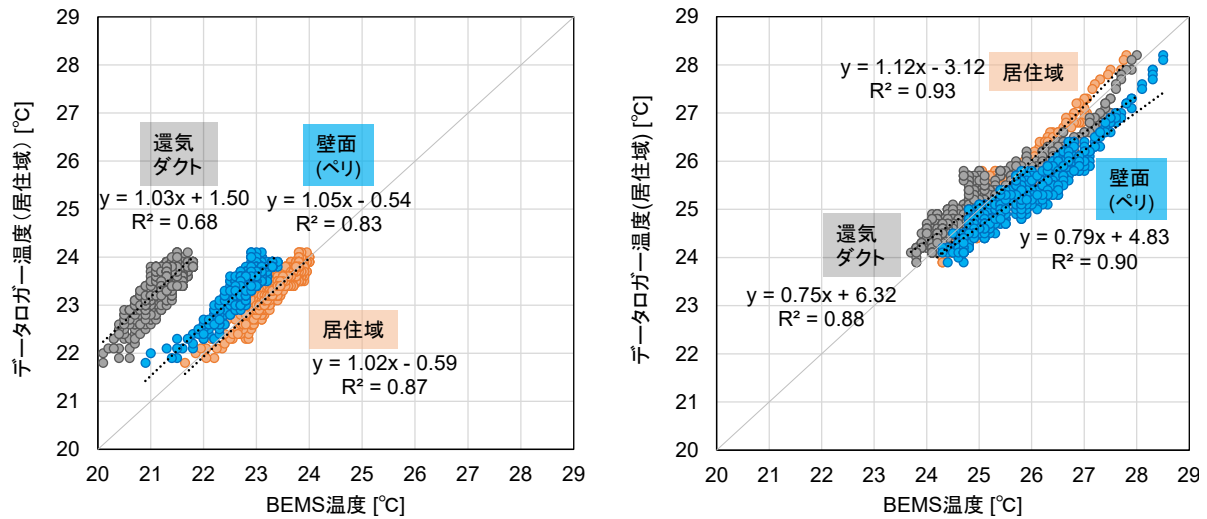


図 4-4 F ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図
(左：暖房期 2023/1~2、右：冷房期 2023/7)

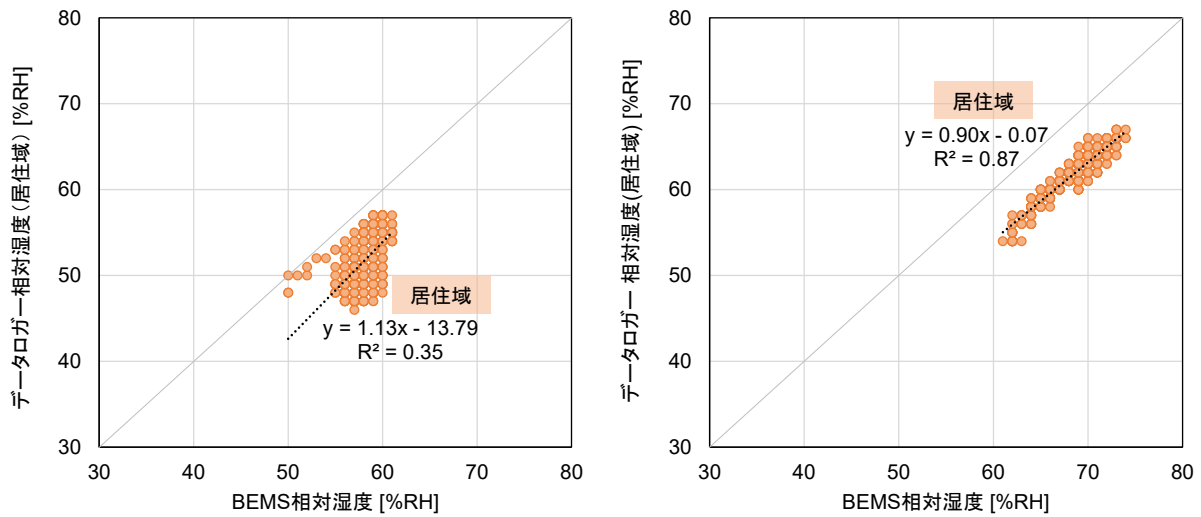


図 4-5 F ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図
(左：暖房期 2023/1~2、右：冷房期 2023/7)

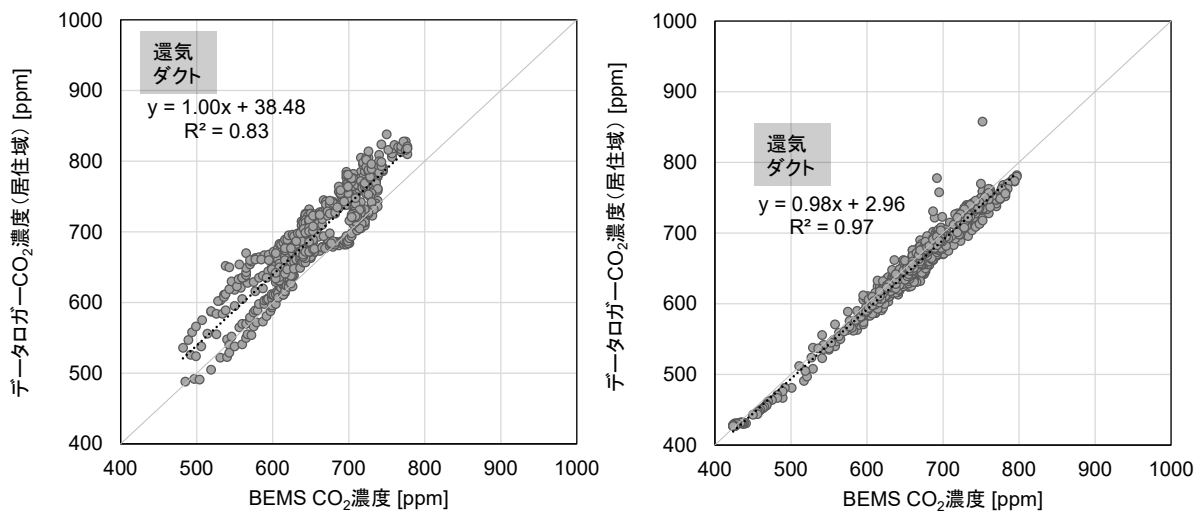


図 4-6 F ビルの BEMS センサとデータロガーの CO₂ 濃度散布図
(左：暖房期 2023/1~2、右：冷房期 2023/7)

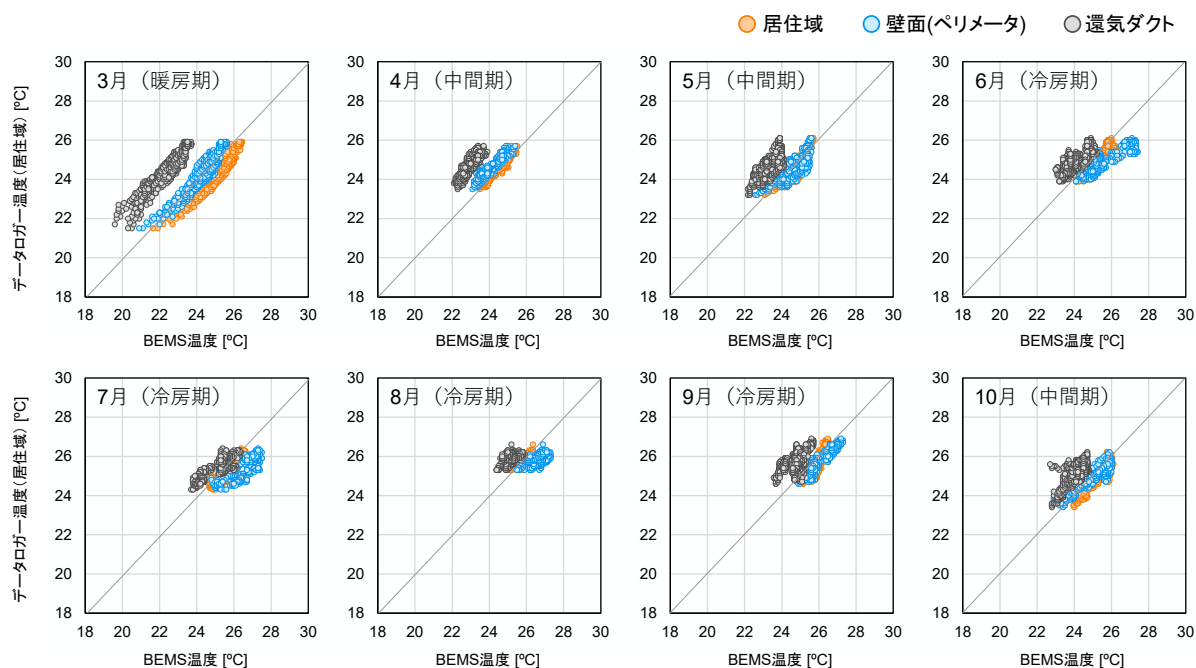


図 4-7 F ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の温度散布図（2024/3~10）

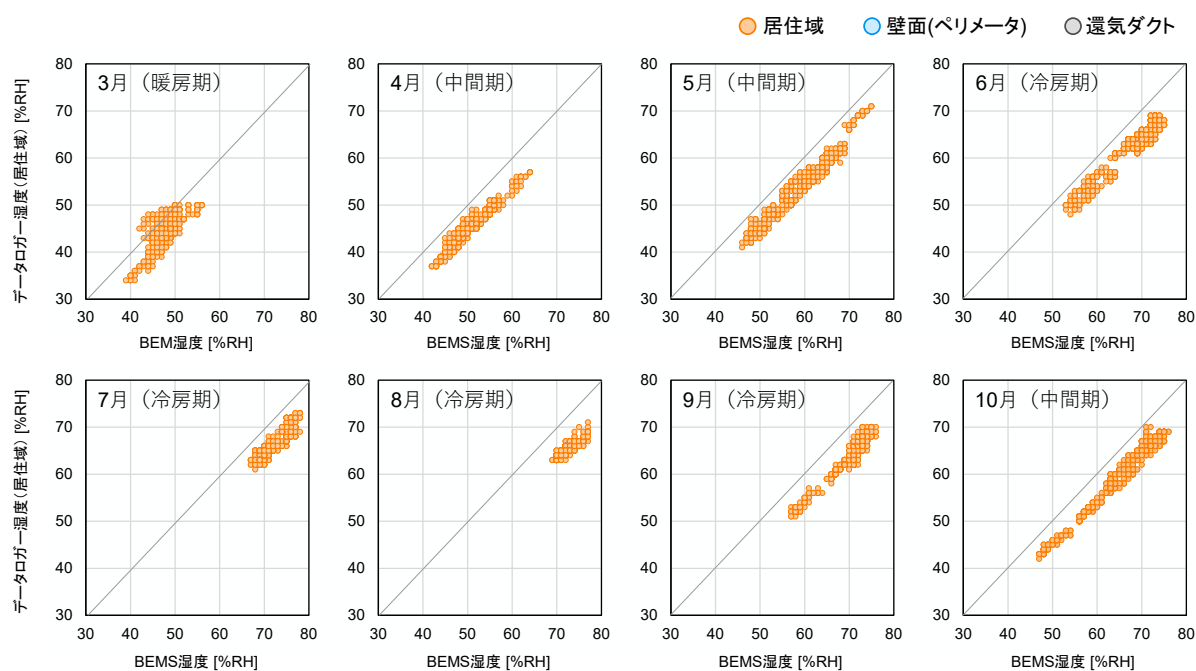


図 4-8 F ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の相対湿度散布図（2024/3~10）

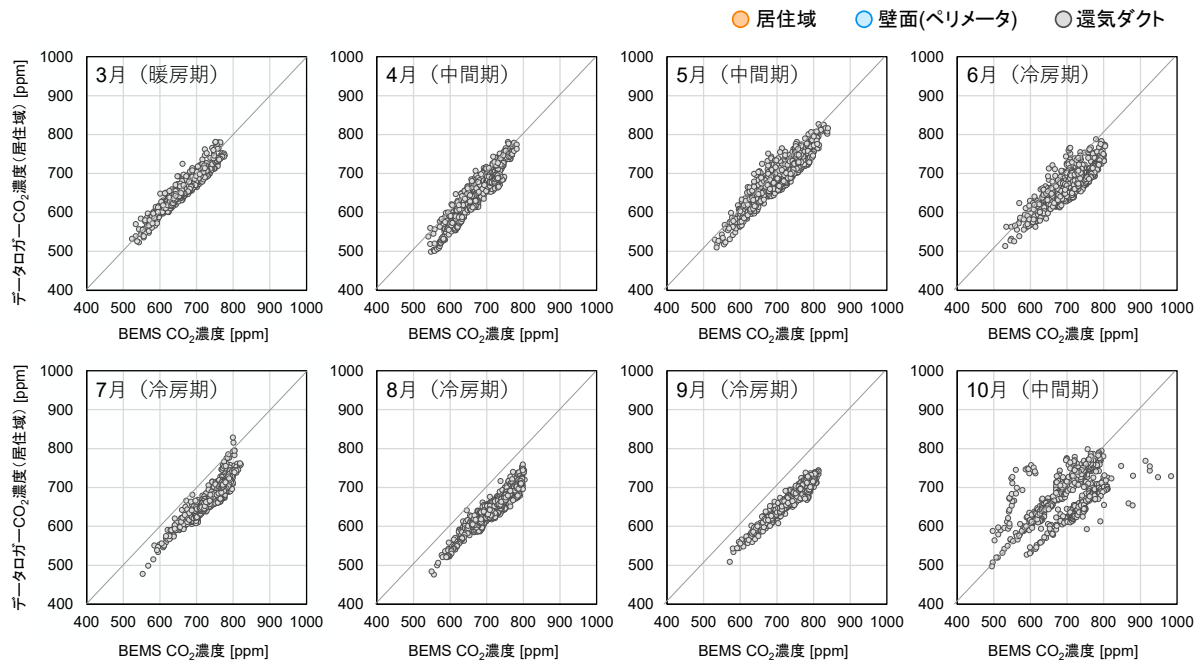


図 4-9 F ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の CO₂ 濃度散布図 (2024/3~10)

■ 暖房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

約1年後

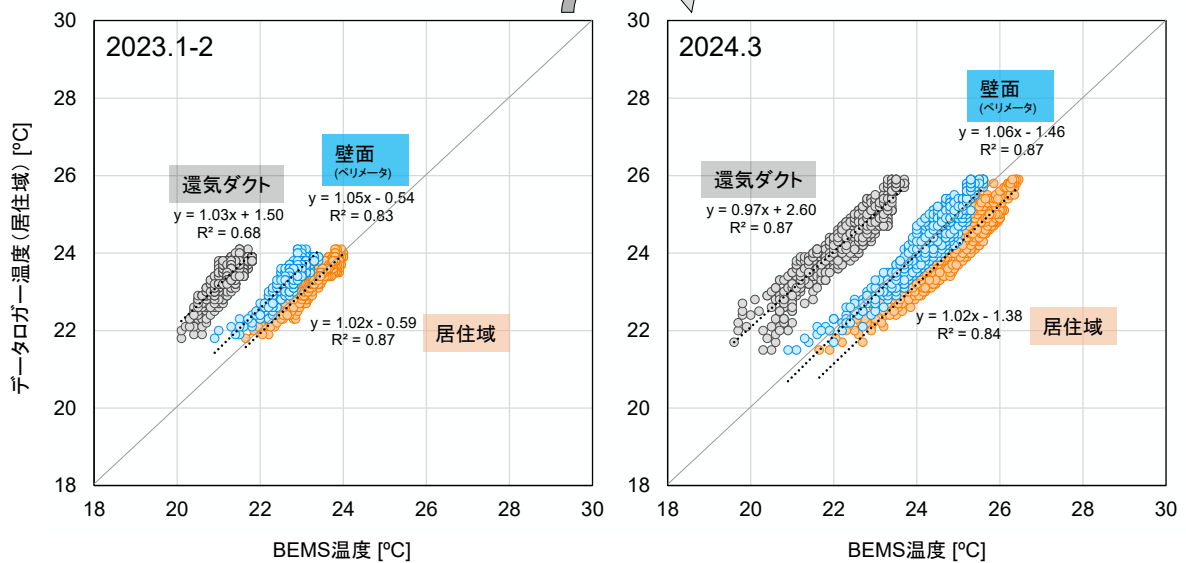


図 4-10 F ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図の経年変化（暖房期）

■ 冷房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

1年後

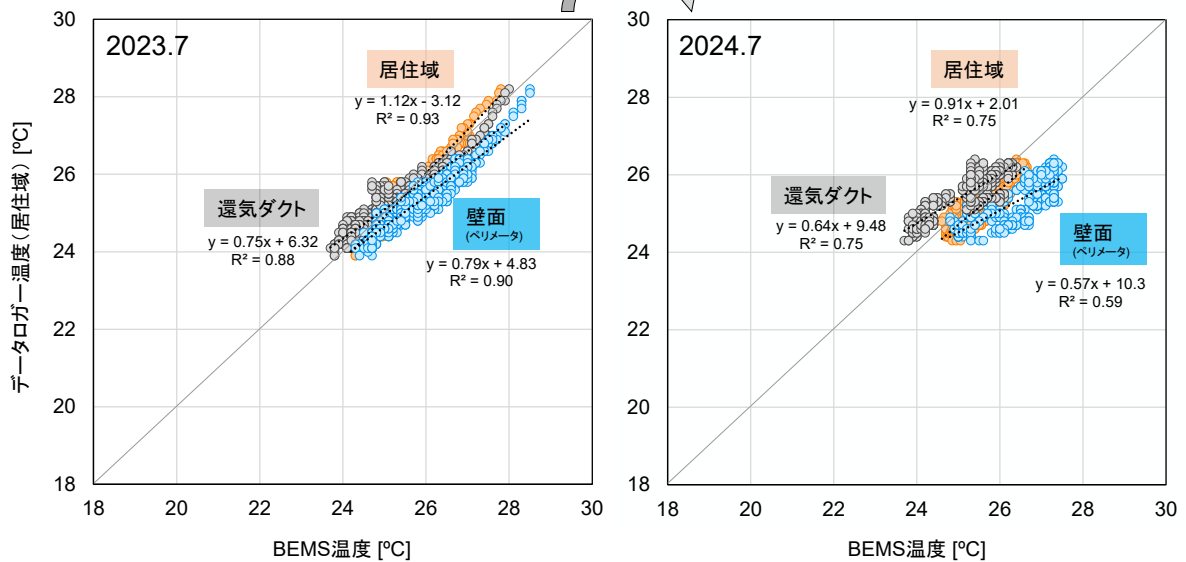


図 4-11 F ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図の経年変化（冷房期）

■ 暖房期

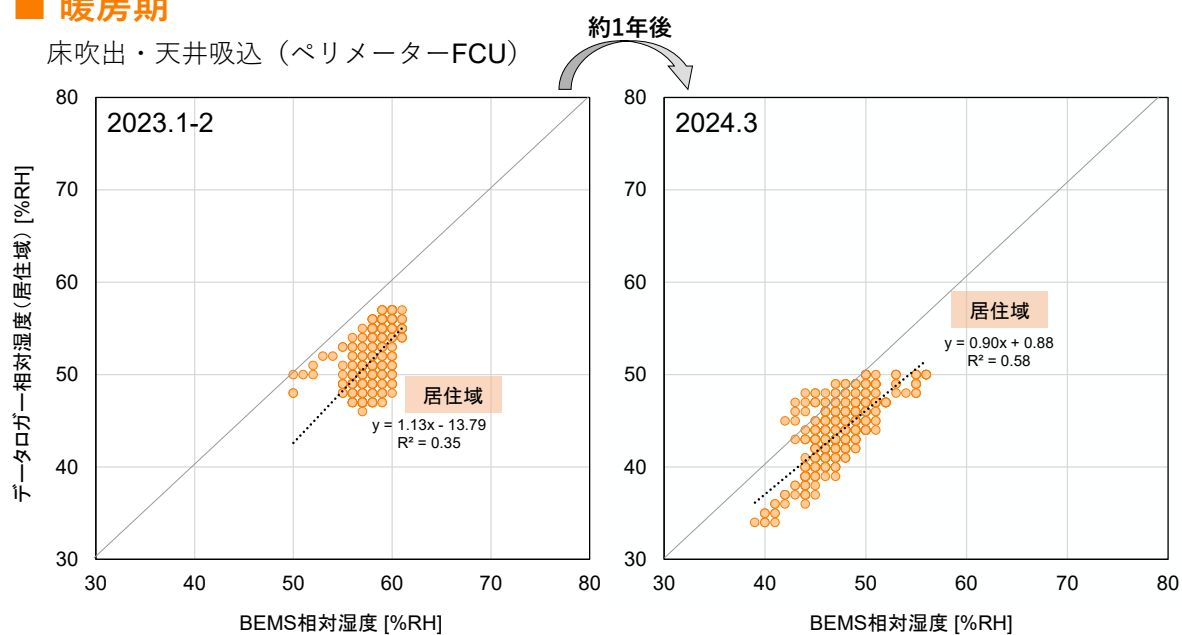


図 4-12 F ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図の経年変化（暖房期）

■ 冷房期

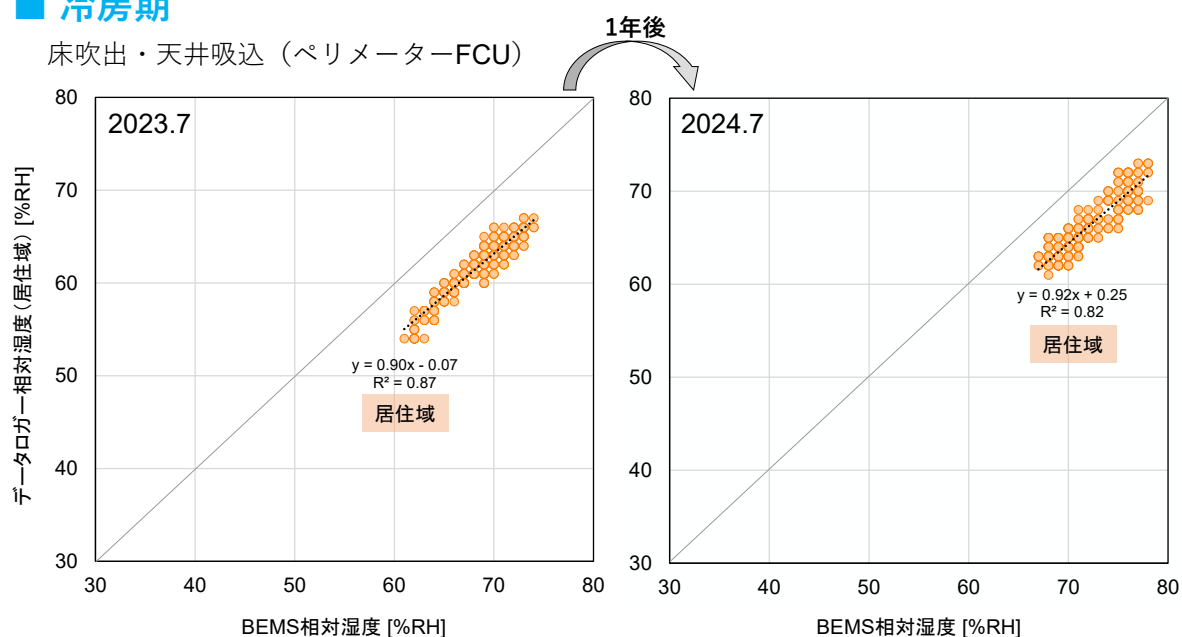


図 4-13 F ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図の経年変化（冷房期）

■ 暖房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

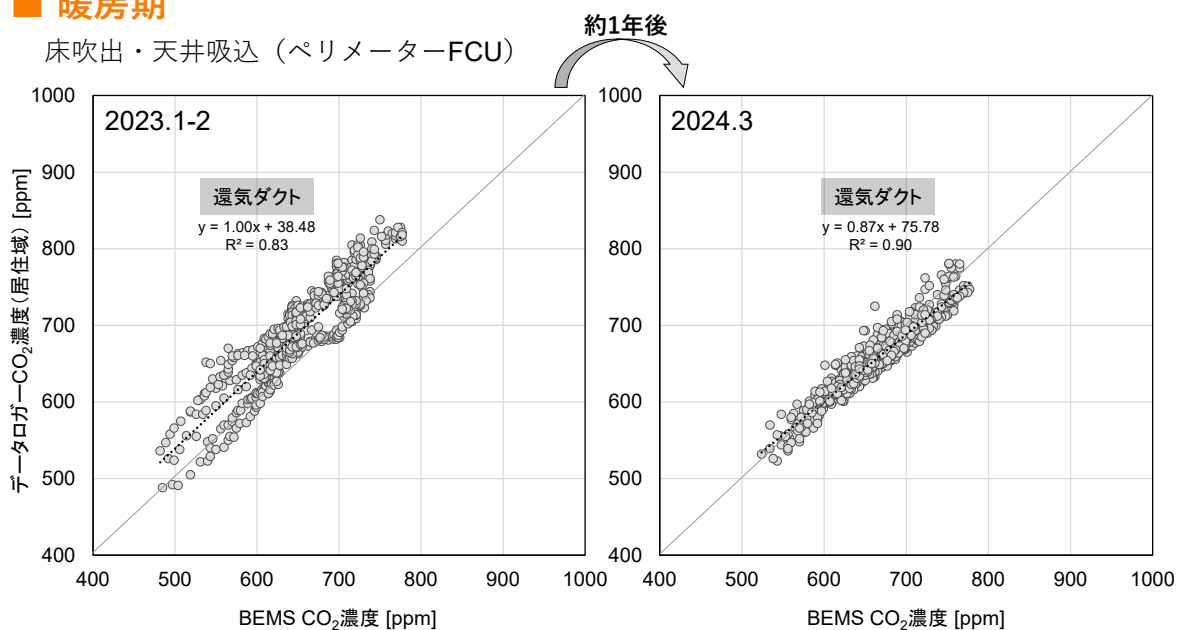


図 4-14 F ビルの BEMS センサとデータロガーの CO₂ 濃度散布図の経年変化（暖房期）

■ 冷房期

床吹出・天井吸込（ペリメーターFCU）

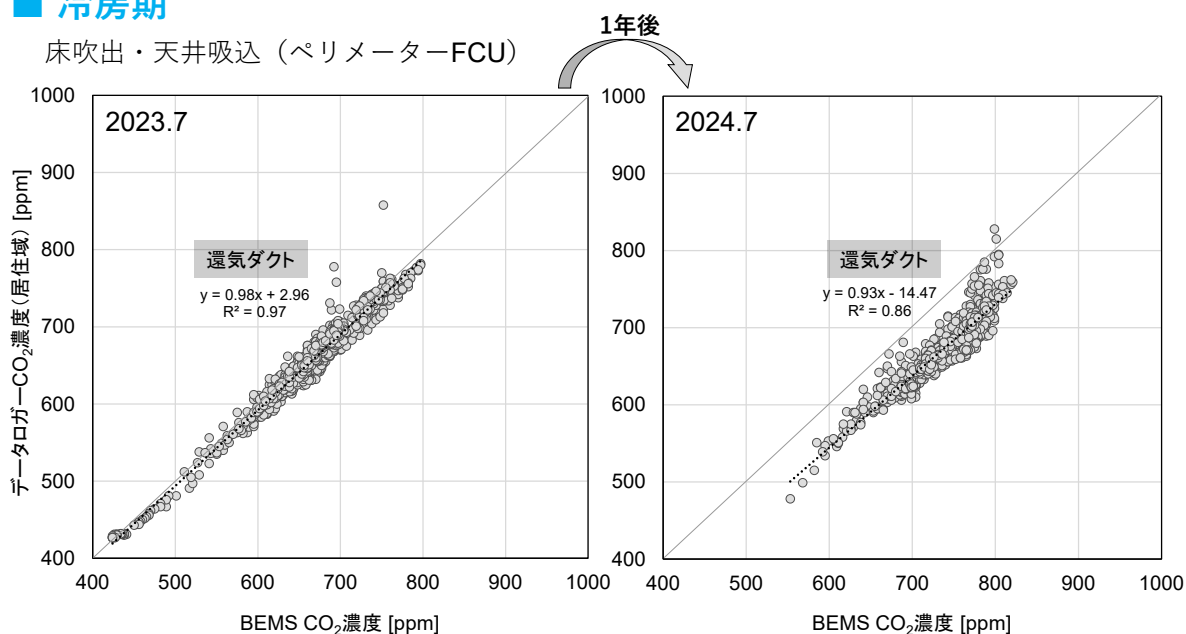


図 4-15 F ビルの BEMS センサとデータロガーの CO₂ 濃度散布図の経年変化（冷房期）

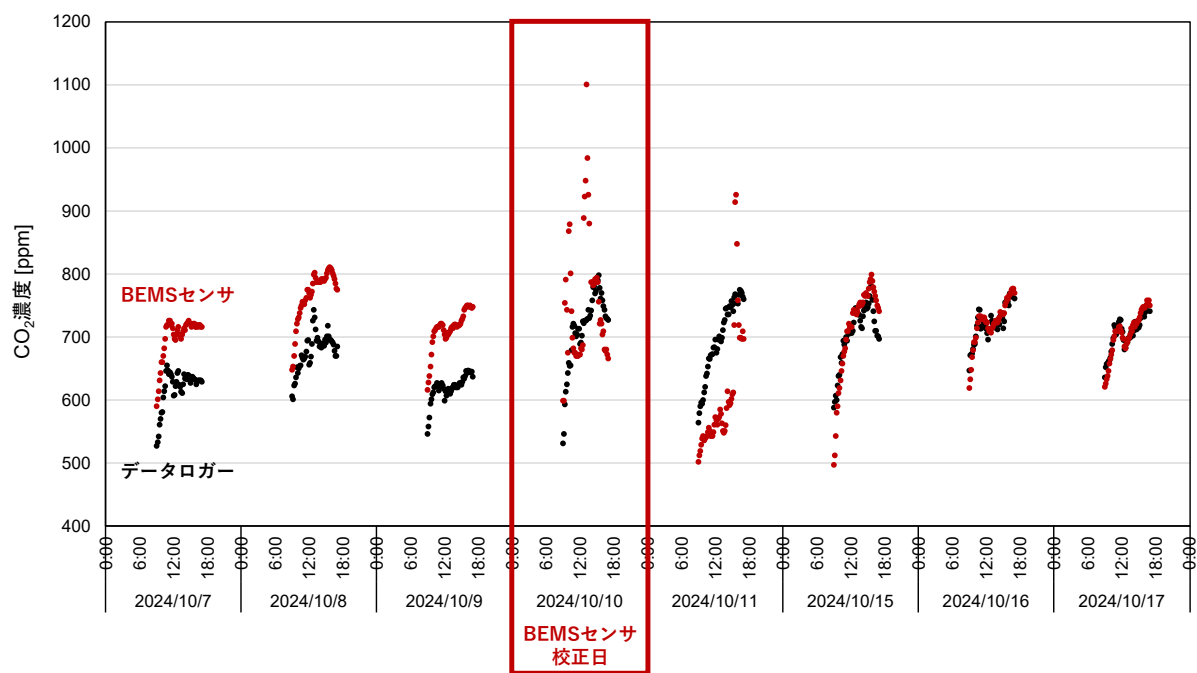


図 4-16 F ビルの BEMS センサ手動校正日前後のデータロガーと BEMS センサの CO₂ 濃度推移