

3. 事務所建築物における CO2 濃度の全国実態調査－Phase2 調査－

分担研究者	金 勲	国立保健医療科学院 上席主任研究官
分担研究者	東 賢一	近畿大学医学部 准教授
分担研究者	鍵 直樹	東京工業大学情報理工学研究所 准教授
分担研究者	柳 宇	工学院大学建築学部 教授

研究要旨

特定建築物に関しては法律による2ヶ月以内に1回の測定と結果の報告が義務化され、統計報告もされているが、3000m²未満の中小規模建築に関しては室内環境や衛生管理に関する情報が乏しい状態である。そこで、2018～2019年度に掛け、全国の特定建築物及び中小規模建築を対象に冷房・暖房期に2週間の温度、湿度、CO₂濃度の連続測定（研究計画のPhase2）を行った。5分間隔で約2週間測定を行った後、郵送で回送してもらった。

2018年度の夏期・冬期にオフィス用との中小規模ビル45件、2019年度は25件を対象に測定を依頼し、有効測定数としてそれぞれ42件、22件から回収できた。

2018年度は1000ppmを超える建物は、夏期36%、冬期33%、1回でも1000ppmを超えた建物は夏期67%、冬期69%あった。2019年度22件の測定では、1000ppm超は夏期23%、冬期26%、1回でも1000ppmを超えた建物は夏期68%、冬期70%であった。

1回でも基準値を超える割合はほぼ同じ7割程度であるが、平均濃度としては1000ppmが守られている建物が増える結果となった。対象が異なるため一律な比較はできないが、2018年度よりも全体で特定建築物が占める割合が増えたことも一因と考えられた。

濃度区間別出現頻度からは、2018・2019年度共に季節間の差より物件ごとの特徴が強かった。2018年度の不適合頻度の平均は夏期32%、冬期31%であり、完全適合（不適合0）を除いた平均は夏期47%、冬期44%であった。一方、2019年度の不適合頻度の平均は夏期25%、冬期22%であり、完全適合（不適合0）を除いた平均は夏期37%、冬期31%と2019年度の結果が低く、更に2000ppm超はわずか3例でその割合も低かった。

2018年度、2019年度ともに夏期及び冬期濃度に強い相関が示されたが、2018年度は夏期濃度が冬期濃度より高い建物の割合は2:1、2019年度は1:1と顕著な違いが見られた。

2019年度は特定建築物の割合が高いことが一因と考えられるが、その他に空調方式、建物性能、築年数、地域なども影響する可能性があり、今後詳細解析を続ける必要がある。

研究協力者

小林健一 国立保健医療科学院
林 基哉 国立保健医療科学院
島崎 大 国立保健医療科学院
開原典子 国立保健医療科学院
渡邊康子（公社）全国ビルメンテナンス協会

A. 研究目的

特定建築物を対象にしている建築物衛生法ではCO₂濃度1000ppmを管理基準としている。これは、CO₂の直接的な人体影響からではなく換気基準として定まったものであり、人間活動が行われる空間は必ずCO₂が発生するため、適切な換気が行われCO₂濃度が適切に管理されていれば、他の空気汚染物質もある程度コントロールできるという考え方を基にしてい

る。

1000ppm に関してはその設定根拠をはじめ、大気濃度上昇と換気量制御、省エネルギー、純CO₂ の健康影響など設計基準や管理基準の緩和や強化への議論は未だに続いている。

2017年現在、相対湿度の不適合率は55%以上、温度30%以上、CO₂は30%に近接し、上昇傾向が続いている(図3-1)。原因としては建築物衛生法の改正(H14)、幾度に渡る省エネ法の改定(H15、H17、H25、H29)、東日本大震災(H23)による節電要求などに加え、社会的な要因以外にも設備の管理・運用上の問題、省コスト、立入検査や報告徴収の方法、定点測定の代表性など明らかになっていない問題があることを指摘した¹⁾²⁾。

特定用途3000m²以上を対象とする建築物衛生法では換気基準としてCO₂濃度1000ppmを管理基準にしている。近年、地球環境保全や省エネ傾向により相対湿度、温度、CO₂濃度にて不適合が顕著に表れ、全国平均としてCO₂濃度の不適合率は30%近いと報告されている²⁾。特定建築物は環境衛生の維持・管理・測定における根拠法が存在するため、十分とは言えないもののある程度の全体図は把握されていると考えられる。

一方、3000m²未満の中小規模建築には労働環境の維持管理のための事務所衛生基準規則があり、室内空気環境基準5000ppm、空調・換気設備による供給空気の濃度を1000ppm以下にすることを定めている(表3-1)。しかしながら、中小規模建築における室内環境の現状や設備の運用・管理状況などは明らかになっていない。

特定建築物に関しては法律による2ヶ月以内に1回の測定と結果の報告が義務化され、統計報告もされているが、3000m²未満の中小規模建築に関しては室内環境や衛生管理に関する情報が乏しい状態である。

そこで、2018～2019年度に掛け、全国の特定建築物及び中小規模建築を対象に冷房・暖房期に2週間の温度、湿度、CO₂濃度の連続測定(研究計画のPhase2)を行った。

B. 研究方法

B.1 研究デザイン

本研究においては、調査に関する依頼意向を含めた500社に対するアンケート調査をPhase1とし、その中から建物を選別して連続測定用のセンサーを送付して2週間程度の測定(温度、湿度、二酸化炭素)を実施する室内環境測定Phase2としている。本章で報告する温度・湿度・CO₂濃度の2週間の連続測定はPhase2となる。

依頼対象は、公益社団法人全国ビルメンテナンス協会に協力を要請し、建築物衛生法が適用されない中規模建築物と比較のために特定建築物も対象に含め事務所500社の紹介を得た。

アンケートは自記式調査票を研究対象の会社等に配付し、郵送にて回収した。建築物の管理者または事務所の責任者に対しては「建築物の維持管理状況の調査」(管理者用調査)、事務所の従業員に対しては「職場環境と健康の調査」(従業員用調査)を実施している。アンケートに関する詳細は本報告書の「5. 建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査」で説明している。

Phase1の回答者の中からPhase2へ協力可能と回答があった事務所30～50件程度選定して調査を実施した。また、事務所内への立ち入りを行って詳細な室内環境(化学物質、微生物、粉じん等)を測定する室内環境調査をPhase3とし、Phase1の回答者の中から10～15件程度(Phase3へ協力承諾が得られた事務所)選定して実施している。

B.2 測定対象及び実施期間

2018年8月～9月にPhase2及びPhase3の夏期調査として、Phase2(44件)およびPhase3(12件)を実施した。また、冬期調査としてPhase2(42件)およびPhase3(9件)を2018年12月から2019年3月の間に実施した。

続いて、2019年8月～9月にPhase2及びPhase3の夏期調査としてPhase2(25件)およびPhase3(10件)を実施した。また、冬期調査としてPhase2(24件)およびPhase3(11件)を2019年12月から2020年3月の間に実施した。

B.3 温度・湿度・CO₂濃度の連続測定

温度・湿度・CO₂用の連続測定小型センサー(T&D TR-76Ui)を郵送により配布、設置依頼をした。5分間隔で約2週間測定を行った後、郵送で回送してもらった。

有効データとして2018年度42件、2019年度に22件の回収数が得られた。

今回の報告内容は、連続した5勤務日(月～金)以上、勤務時間帯(09:00～17:00)のデータを抜粋し、整理した結果である。

また、2018年度と2019年度調査の対象物件は基本的に異なるため、図表中の記号はセンサー番号で現しており、年別の記号にデータ整合性はない。

B.3.1 2018年度測定

2018年8月～9月に夏期調査として44件を対象に、冬期調査として42件を対象に2018年12月から2019年3月に郵送による実測依頼を行った。

ただし、設置期間のずれや電源の未接続による欠測などで、必ずしも計測期間が一致しているわけではない。

B.3.2 2019年度測定

また、2019年8月下旬～9月中旬に25件を対象に、2020年1月下旬～2月中旬の間に24件を対象に2週間の測定を依頼した。夏期22件、冬期23件の有効な測定が行われた。

ただし、設置期間のずれや電源の未接続による欠測などで、必ずしも計測期間が一致しているわけではない。

C. 研究結果および考察

C.1 2018年度の測定結果

C.1.1 CO₂平均及び集計値

図3-2に夏期のCO₂濃度を、図3-3に冬期のCO₂濃度結果を示す。月曜日～金曜日までの連続した5勤務日における勤務時間帯09時～17時までのデータを纏めたものである。紫色の陰影が中央式空調、橙色が中央・個別式併用、陰影無しが個別方式である。

平均濃度が1000ppmを超える建物は、夏期15件(36%)、冬期14件(33%)であり、1回でも1000ppmを超えた建物は夏期28件(67%)、冬期29件(69%)となった。平均濃度が

2000ppmを超える建物は夏期1件(N5)、冬期1件(Y24)あった。

特にN5は夏期に一瞬も1000ppmを下回ることがなく、劣悪な環境であり、冬期もほぼ同じ状況にあった。

また、Y24は夏期平均1040ppm、最大1455ppm、最小537ppm、冬期は平均5826ppm、最大9392ppm、最小492ppmと冬期の環境が極端に悪く、期間中1000ppm超過の不適頻度は98.5%に上り、勤務時間帯の84%が3000ppmを超えていた。室内で換気を行わずに燃焼系器具などを使用していると推察される。

当建物は夏期においても1000ppm超過の不適頻度が60.8%と換気に対する意識が低いと考えられる。そのため、図3-5の回帰式ではY24の濃度データは除いている。

季節による違いは殆どなく、物件(建物)によって環境の善し悪しが決まる傾向にあった。平均値として不適合を判断すると特定建築物の現状とほぼ同等もしくは若干高い数値となるが、定点測定として判断すると70%に近い不適率となる。

C.1.2 CO₂濃度1000ppm超過頻度

図3-4にCO₂濃度1000ppm以下、1000～2000ppm、2000～3000ppm、3000ppm超過の区間別出現頻度の割合を示す。

結果、評価期間全体における不適合の出現割合は区々であり、季節間の違いが見られる建物も一部ある。

しかし、季節間の差よりは物件ごとの特徴が強いことが読み取れる。42件全体の期間中、不適合頻度の平均は夏期31.6%、冬期30.5%であった。

これは、全測定対象の平均であり、完全適合(不適合0)を除いた平均は夏期47.4%、冬期44.2%と計測期間中一度でも不適合濃度を経験したところでは勤務時間帯の半分近くの時間が不適合状態になっている。

C.1.3 季節による濃度差

図3-5に夏期と冬期におけるCO₂の平均濃度の相関図を示す。統計的には $a=0.69$ 、 $|R|=0.81$ 、 $p=0.035<0.05$ と有意な強い相関が示された。

同一物件における季節間濃度関係では夏期濃度>冬期濃度の物件が28:14と夏期に平均濃

度が高い建物が2倍と多い。Y24の結果を入れると、平均値で夏期942ppm、冬期1011ppmと冬期濃度がやや高くなるが、Y24を除くと940ppm、893ppmと夏期濃度が若干高くなる。

一方、回帰式から、平均濃度が791ppm以下の建物では夏期濃度<冬期濃度と、年間通じてCO₂濃度を低いレベルで保っている建物では冬期濃度が高い結果となる。

空調設備及び建物性能が関わってくるのが推察されるが、調査対象の地域の特徴と偏重が影響しているかも含め、詳細解析が必要である。

C.1.4 空調方式による違い

中央式空調はN1、Y12、Y18-6、Y18-7、Y18-8、中央・個別併用型はN11、N16、Y18、Y26、Y31、他は個別方式を導入している。

N1、N16、Y12、Y31のように必ずしも1000ppmを満足しているわけではないが、傾向として中央式、併用型の方が低いCO₂濃度を示している。

一方、最も悪い環境となっているN5、Y24は共に個別方式であり、Y24は建築年が1990年代であるが、N5は1960年代と最も古く建物性能が環境悪化の原因と考えられる。

C.2 2019年度の測定結果

C.2.1 CO₂濃度の集計結果

図3-6に夏期のCO₂濃度測定結果を図3-7に冬期の結果を示す。

特定建築物7件(N9、N10、N16、N20、N24、N25、N26)、中規模5件(N11、N22、N30、N31、N32)、小規模10件(N12、N13、N14、N17、N18、N21、N23、N27、N33、N34)、未詳2(N1、N2)である。一部物件は温湿度あるいはCO₂データが欠測しているため、夏期22件、冬期23件の結果となっている。

平均濃度が1000ppmを超える建物は、夏期5件(23%)、冬期6件(26%)であり、1回でも1000ppmを超えた建物は夏期15件(68%)、冬期16件(70%)あった。両季節ともに平均濃度が1500ppmを超える建物はなかった。

赤線で囲っている対象が特定建築物であるが、N9を除けば中小規模建築より平均CO₂濃度が低い傾向にあり、特定建築物の平均は夏期807ppm、冬期804ppm、中小規模では925ppm、

912ppmと特定建築物が平均100ppmほど低い。

対象全体の季節平均は夏875ppm、冬868ppmとほとんど差がないが、最大値が2000ppmを超える物件は夏1件、冬5件と冬期に換気条件が悪化する事例がやや多かった。

季節による違いは殆どなく建物によって環境の善し悪しが決まると推察される。

平均値として不適合を判断すると特定建築物の現状とほぼ同等となるが、定点測定として判断すると70%に近い不適合率となる。

C.2.2 濃度1000ppmの超過頻度

図3-8にCO₂濃度1000ppm以下、1000~2000ppm、2000~3000ppm、3000ppm超過、の区間別濃度の出現頻度の割合を示す。

N16、N17、N27は一つの季節だけ欠測となっている。不適合の出現割合は区々であり、一部建物では季節間の違いが見られたが、その差は大きくない。N9は特定建築物であるが夏・冬期ともに不適合の頻度が高い。最も不適合頻度が高かったのはN18の冬期で84%、夏期はN34で80%であった。1000ppm超の頻度が高い物件では季節関係なくその頻度が高い傾向が見られる。

常に1000ppm以下で維持している建物では季節を問わずおおそ基準が守られている。今回の測定では2000ppm超はわずか3例であり、その出現頻度の割合も低かった。

季節間の差よりは物件ごとの特徴が強いことが読み取れる。24件全体の期間中、不適合頻度の平均は夏期25%、冬期22%であった。これは、全測定対象の平均であり、完全適合(不適合0)を除いた平均は夏期37%、冬期31%と計測期間中一度でも不適合濃度を経験したところでは勤務時間帯の3割以上の時間が不適合状態になっている。

C.2.3 季節による濃度差

図3-9に夏期と冬期におけるCO₂の平均濃度の相関図を示す。統計的には $a=1.07$ 、 $|R|=0.82$ 、 $p<0.0001$ と有意な強い相関が示された。

同一物件における季節間濃度関係では冬期濃度>夏期濃度の物件が11:10とほぼ同数となっている。平均値としても夏・冬期ともに870ppm前後とほぼ同じであった。

C.3 考察

2018年度の42件の測定結果と比較すると、2018年度は1000ppmを超える建物は、夏期36%、冬期33%、1回でも1000ppmを超えた建物は夏期67%、冬期69%あった。2019年度24件の測定では、1000ppm超は夏期23%、冬期26%、1回でも1000ppmを超えた建物は夏期68%、冬期70%であった。

1回でも基準値を超える割合はほぼ同じ7割程度であるが、平均濃度としては1000ppmが守られている建物が増える結果となった。対象が異なるため一律な比較はできないが、2018年度よりも全体で特定建築物が占める割合が増えたことも一因と考えられる。

また、2018年度は平均濃度2000ppmを超える建物も夏期・冬期1件ずつあり、冬期には平均値で5000ppm以上、最大9000ppmを超えるところがあったが、今年は両季節ともに平均濃度が1500ppmを超える建物はなかった。

濃度区間別出現頻度からは、2018年度は季節間の差より物件ごとの特徴が強かったが、今回も同様の結果が示された。2018年度の不適合頻度の平均は夏期32%、冬期31%であり、完全適合（不適合0）を除いた平均は夏期47%、冬期44%であった。一方、2019年度の不適合頻度の平均は夏期25%、冬期22%であり、完全適合（不適合0）を除いた平均は夏期37%、冬期31%と2019年度の結果が低く、更に2000ppm超はわずか3例でその割合も低かった。

2018年度、2019年度ともに夏期及び冬期濃度に強い相関が示されたが、2018年度は夏期濃度が冬期濃度より高い建物の割合は2:1、今回は1:1と顕著な違いが見られた。

2019年度の対象建物は季節を問わず均一な濃度（換気）条件を維持していた。今回は特定建築物の割合が高いことが一因と考えられるが、その他に空調方式、建物性能、築年数、地域なども影響する可能性があり、今後詳細解析が必要である。

D. まとめ

2018年度は全国42件のオフィス用建物を対象に行った冷暖房期におけるCO₂濃度の連続測定から以下の知見が得られた。

平均濃度で1000ppmを超える建物は、夏期36%、冬期33%であり、1回でも1000ppmを超えた建物は夏期67%、冬期69%あった。

平均濃度2000ppmを超える建物も夏期・冬期1件ずつあり、冬期には平均値で5000ppm以上、最大9000ppmを超えるところがあった。また、測定期間中一瞬も1000ppmを下回らない物件が存在した。

濃度区間別出現頻度からは、季節間の差より物件ごとの特徴が強かった。全体物件の期間中、不適合頻度の平均は夏期31.6%、冬期30.5%であり、完全適合（不適合0）を除いた平均は夏期47.4%、冬期44.2%であった。

夏期濃度が冬期濃度より高い建物の割合は2:1であった。回帰式から、平均濃度791ppm以下のCO₂濃度を低いレベルで保っている建物では夏期より冬期濃度が高い傾向を示した。

中央式、併用型空調の方が個別式より低いCO₂濃度を示していた。最も悪い環境となっていた建物は共に個別方式であったが、その一軒は1960年代に建てられ、建物性能が環境悪化の原因と考えられた。

2019年度は全国24件のオフィス用建物を対象にCO₂濃度の連続測定を行った。

平均値としては1000ppmを超える建物は2割程度であったが、1回でも1000ppmを超える割合はほぼ7割あった。

また、昨年度とは異なり期間中ずっと1000ppmを下回らない、3000ppmを超える高濃度を示すなど、著しく悪い環境にある物件はなかった。

特定建築物における立入検査の定点測定を仮定すると7割ほどが管理基準を超えることになるが、常に悪い環境にあるではなく、平均としては基準を守れる建物が多い。在室時間を通して1000ppm以下に維持するのは、健康衛生上望ましいが設備や建物性能を考えると、連続測定の濃度平均値を用いるなどより柔軟かつ合理的な考え方が必要である。

特定建築物における CO2 濃度の不適率増加は、換気不足と空気衛生環境の悪化に繋がるリスクを内在している。外気濃度が上昇している昨今、CO2 の管理基準や設計基準に関する議論は避けられないが、その基準レベルの問題であるだけで屋内を望ましい環境に維持することに異論はないはずである。

特定建築物とは異なり、中小規模の建物は中央管理方式の空調システムよりは個別式空調が導入されることが多い。また、換気システムにおいても個別に管理され、その上、管理者もいない場合が多い。今回の調査でも、立入検査の定点測定を仮定すると、悪い場合は 70% 近く不適率が出てくる結果が示された。勤務時間を通して 1000ppm 以下に維持するのは、健康リスク面から望ましいが、設備水準・建物性能を考えると、現実的には連続測定の濃度平均値や複数測定点の平均など柔軟な対応が必要になると考えられる。

また、少数ではあるが、計測時間中に一度も 1000ppm を下回らない建物も存在しており、これは設備や建築の問題ではなく在室者の換気に対する認識の問題と考えられる。

特定建築物が中小規模建築より CO2 濃度(換気)制御で 1000ppm を超える例が少なく有利な結果が示されたが、中小規模建築は建物性能や設備性能が劣ることが多いことから室内環境の悪化が懸念されるところである。

中小規模建築は特定建築物に比べ、設備や建物性能の制限に起因する環境制御の制約がある場合があるが、より小さな空間を対象にしており自由度の面では有利になる可能性もあるため、換気と室内環境の維持に関するリテラシー涵養と教育が重要である。

E. 参考文献

1) 林 基哉、金 勲、開原 典子、小林 健一、鍵直樹、柳 宇、東 賢一、特定建築物における空気環境不適率に関する分析、日本建築学会環境系論文集、Vol.84 No.765、2019.11、pp.1011-1018.

2) 金勲、林基哉、開原典子、小林健一、柳宇、鍵直樹、東賢一、長谷川兼一、中野淳太、李時桓. 事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その3 冷暖房期における二酸化炭素濃度の実態、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2019.9、pp.53-56.

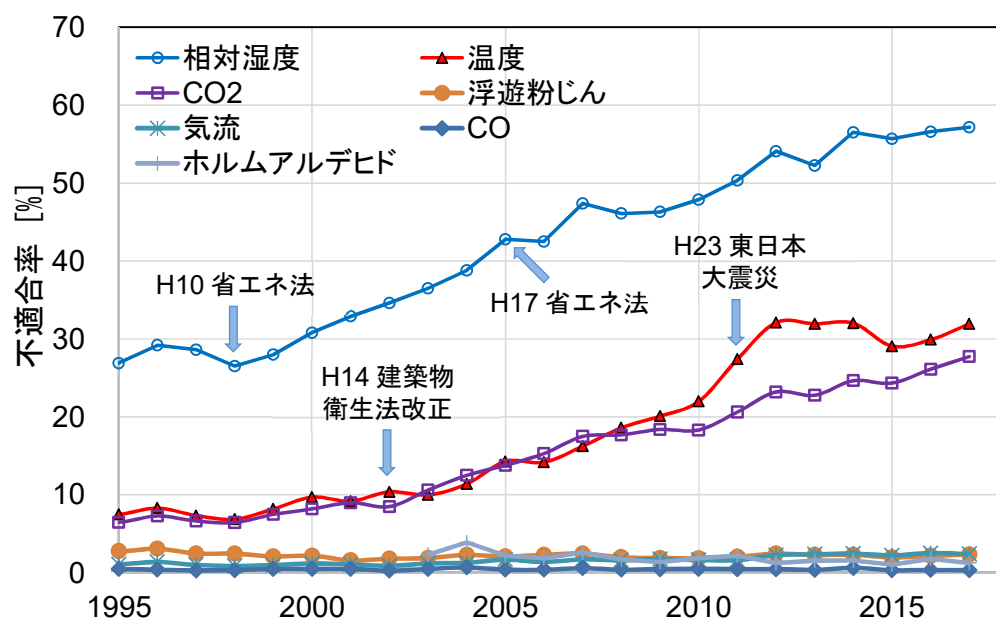


図 3-1 空気環境衛生管理基準に対する不適率の推移

表 3-1 国内外の代表的な CO2 濃度基準

	法律・規準 等	基準値(ppm)	備 考
一般環境	建築基準法、ビル衛生管理法	1000	空調設備有り
	学校環境衛生基準	1500	
	WHO Indoor Air Quality	920	
	ASHRAE	700ppm (内外濃度差)	
労働環境	事務所衛生基準規則	1000	空調・換気設備による供給濃度 室内空気的环境基準
		5000	
	日本産業衛生学会許容濃度	5000	

紫色：中央方式、橙色：中央・個別併用、色無し：個別方式

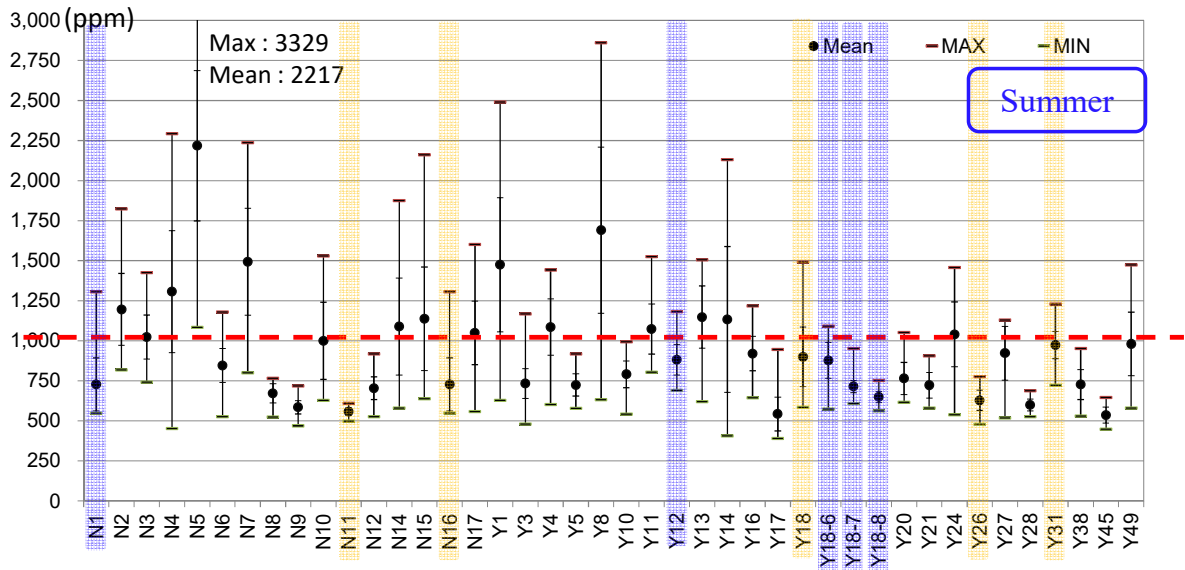


図 3-2 2018 年度夏期の CO2 濃度（勤務日 5 日間、勤務時間帯 09～17 時の統計値）

紫色：中央方式、橙色：中央・個別併用、色無し：個別方式

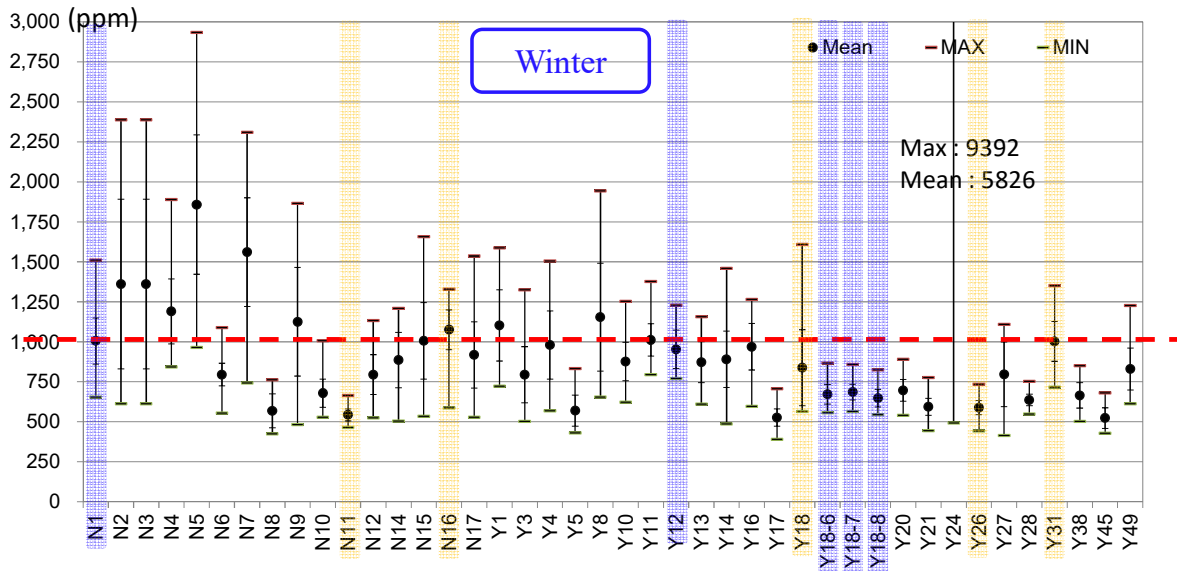


図 3-3 2018 年度冬期の CO2 濃度（勤務日 5 日間、勤務時間帯 09～17 時の統計値）

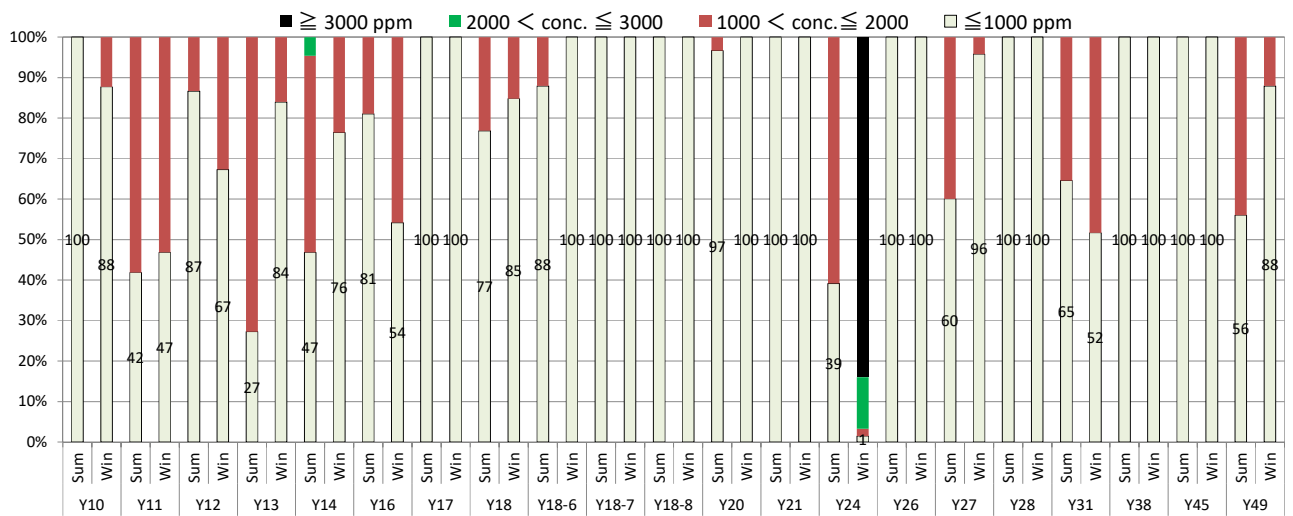
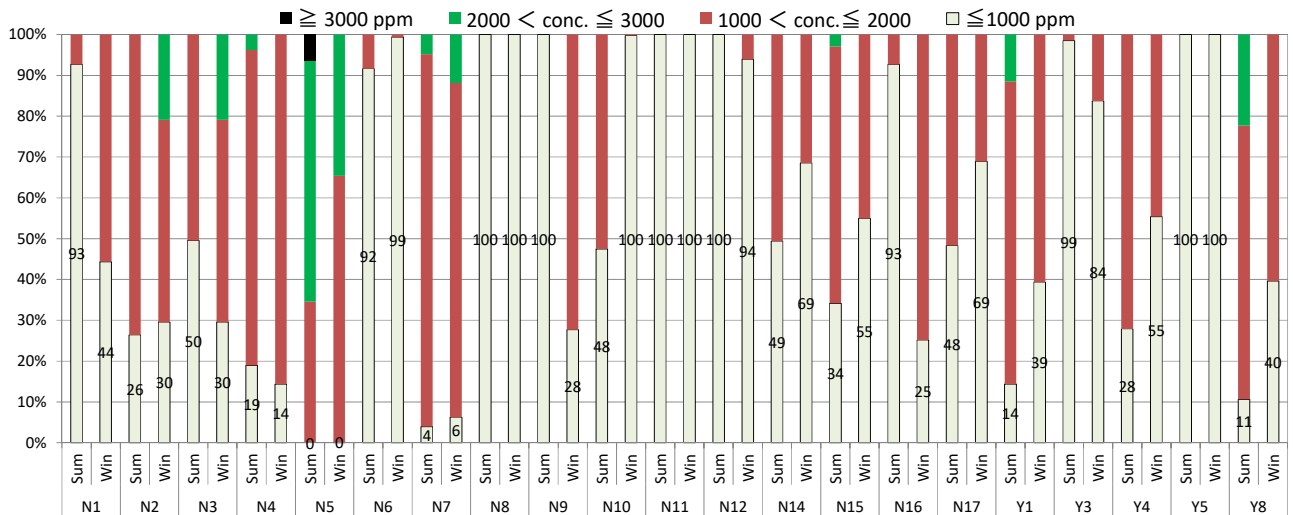
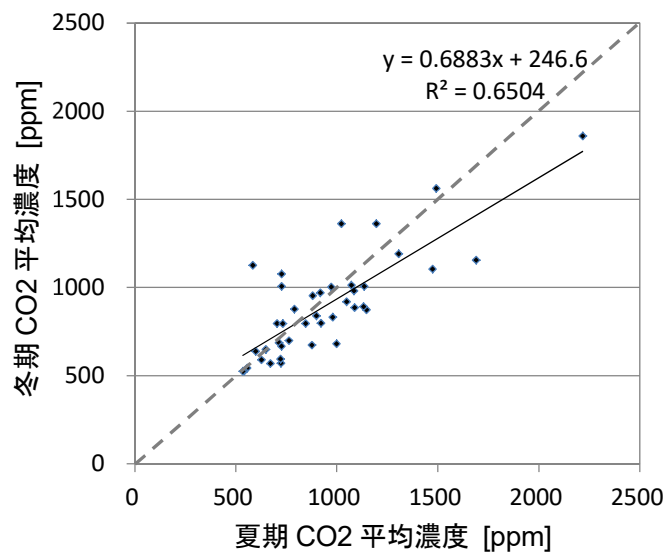


図 3-4 2018 年度の濃度区間別の出現頻度 [%] (グラフ中の数字は 1000ppm 以下の適合頻度の割合)



* Y24 の冬期濃度は極端に高いためグラフ及び回帰式からは除いて

図 3-5 2018 年度の夏期と冬期の平均 CO2 濃度の関係

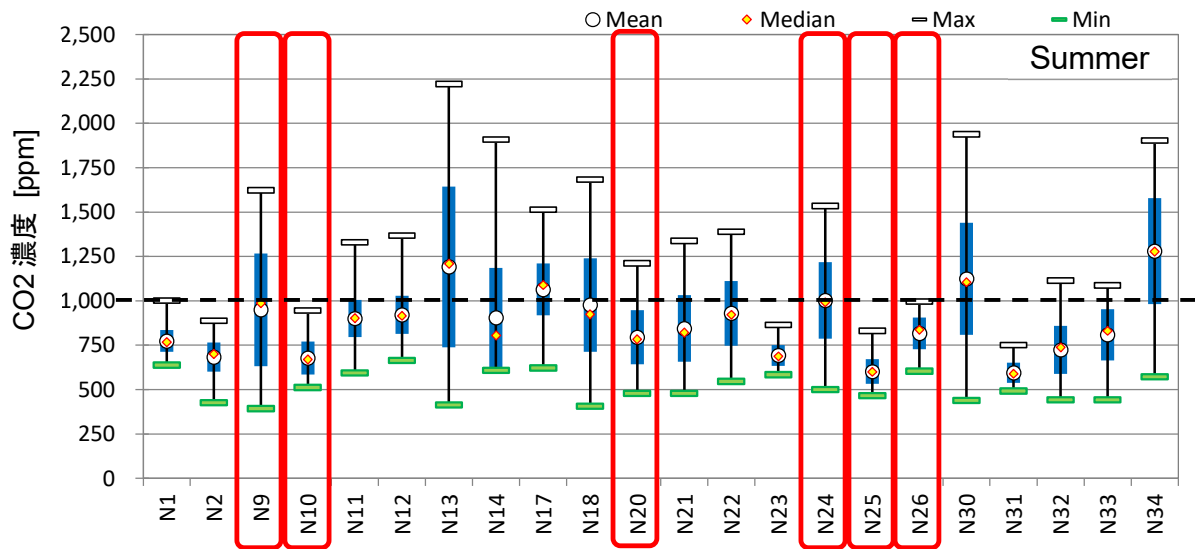


図 3-6 2019 年度夏期測定 of CO₂ 濃度 (勤務日 5~10 日間、勤務時間帯 09~17 時の統計値)

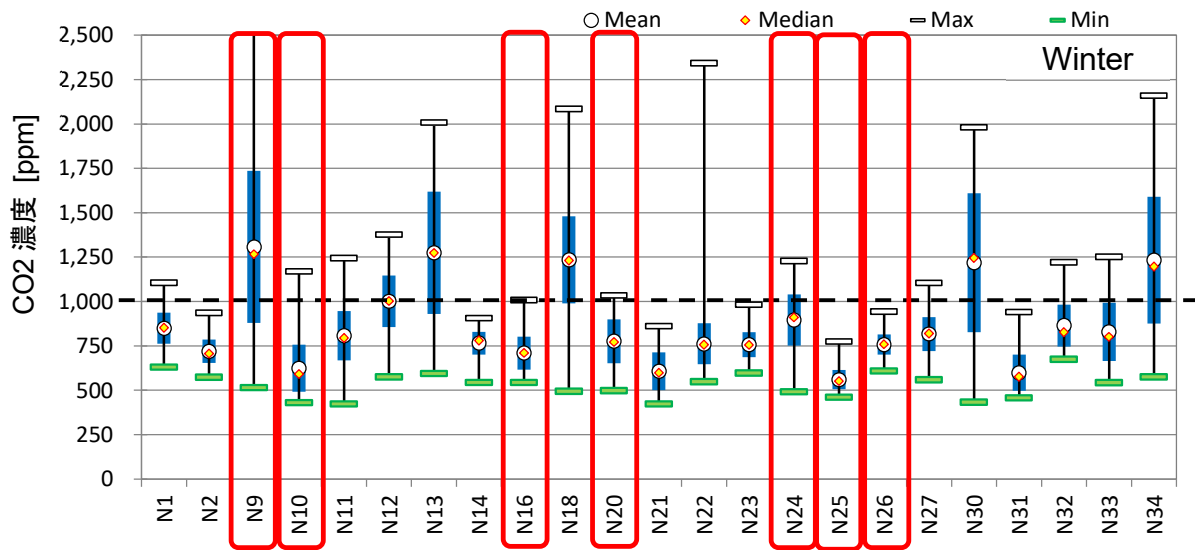


図 3-7 2019 年冬期測定 of CO₂ 濃度 (勤務日 5~10 日間、勤務時間帯 09~17 時の統計値)

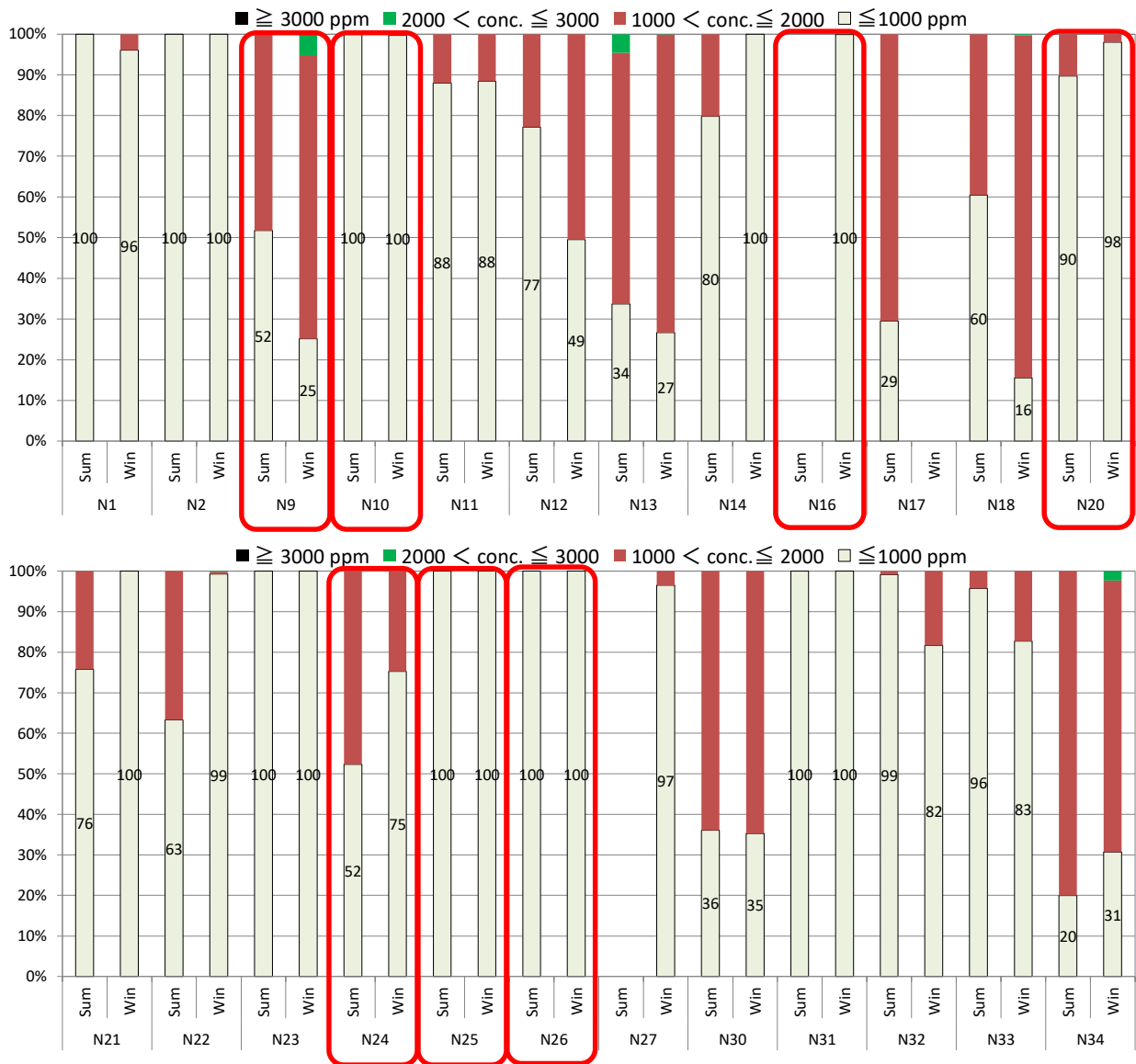


図 3-8 2019 年度の濃度区間別の出現頻度 [%] (グラフ中の数字は 1000ppm 以下の適合頻度の割合)

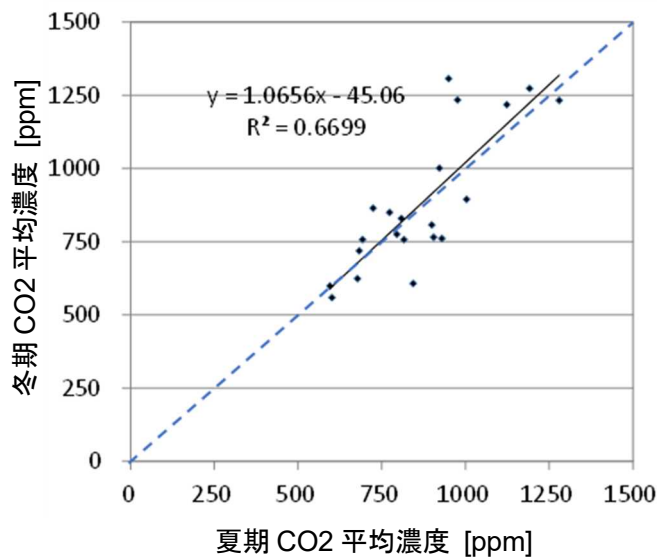


図 3-9 2019 年度夏期と冬期の平均 CO2 濃度の関係