

### 3. 事務所ビルを対象とした CO<sub>2</sub> 濃度の全国実態調査

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

3000 m<sup>2</sup>以上の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、3000m<sup>2</sup>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く、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。

そこで、全国の特定建築物及び中小規模建築24件を対象に、2019年度の冷房機及び暖房期に2週間の温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度の連続測定（Phase2）を行った。温度・湿度・CO<sub>2</sub>用の連続測定小型センサーを郵送により配布、設置依頼をし、2019年8月下旬～9月中旬、2020年1月下旬～2月中旬の間、2週間の測定を依頼した。

CO<sub>2</sub>濃度の連続測定結果、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割であった。

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のではなく、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。

特定建築物が中小規模建築よりCO<sub>2</sub>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場所である。

一方、規模が小さいが故に窓開け換気が可能な建物が多いことや在室者の環境調節への自由度が高くことは利用者意識による環境改善の可能性も高いと考えられる。

#### 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

2017年現在、相対湿度の不適合率は55%以上、温度30%以上、CO<sub>2</sub>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<sup>1)2)</sup>。

CO<sub>2</sub>濃度 1000ppm は換気基準として保健衛生に関わる項目であるが、空調エネルギーに密接に関与しているため昨今の省エネルギー指向、外気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇、利用者の専有面積や在席者率の変化などから、健康・快適性と省エネの両立を図る空調・換気設計が工夫されている。

産業革命以来 CO<sub>2</sub> の大気濃度は年々上昇しており、国内でも年間平均で毎年約 2ppm ずつ上がっている（気象庁の発表<sup>3)</sup>。日本国内で最も綺麗な空気とされる南鳥島や与那国島でも年間平均濃度が 410 ppm（2018 年度）に達しており、本研究の現場調査では都心の外気濃度はすでに 500~600ppm を超えている（図 3-2）。

特定用途 3000m<sup>2</sup> 以上を対象とする建築物衛生法では換気基準として CO<sub>2</sub> 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一傾向により相対湿度、温度、CO<sub>2</sub> 濃度にて不適合が顕著に表れ、全国平均として CO<sub>2</sub> 濃度の不適合率は 30%近いと報告されている<sup>2)</sup>。更に、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 CO<sub>2</sub> の健康影響など設計基準や管理基準の緩和や強化に関する議論は未だに続いている。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、3000m<sup>2</sup> 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、室内空気の環境基準 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、3000m<sup>2</sup> 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、全国の特定建築物及び中小規模建築 24 件を対象に、2019 年度の冷房機及び暖房期に 2 週間の温度、湿度、CO<sub>2</sub> 濃度の連続測定（研究計画の Phase2）を行った。

## B. 研究方法

### B1. 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。

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「4. 建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査」で説明する。

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。

本章で報告する温度・湿度・CO<sub>2</sub> 濃度の 2 週間の連続測定は Phase2 となる。

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。

## B2. 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。

2019年8月下旬～9月中旬、2020年1月下旬～2月中旬の間、2週間の測定を依頼した。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。

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。

建物規模は、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。また、中小規模建築では1000ppmが管理基準ではないが、便宜上特定建築物と同じ1000ppmを基準として解説する。

## C. 研究結果および考察

### C1. CO2濃度の集計結果

図3-3に夏期のCO2濃度測定結果を図3-4に冬期の結果を示す。

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。

しかしながら、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。

### C2. 濃度1000ppmの超過頻度

図3-5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よ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。

### C3. 季節による濃度差

図3-6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。

### C4. 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。前回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

全国 24 件のオフィス用建物を対象に CO<sub>2</sub> 濃度の連続測定を行った結果、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のではなく、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。

特定建築物が中小規模建築より CO<sub>2</sub> 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場所である。

一方、規模が小さいが故に窓開け換気が可能な建物が多いことや在室者の環境調節への自由度が高くことは利用者意識による環境改善の可能性も高いと考えられる。

## 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.
- 3) 気象庁、  
[https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2\\_monthhave\\_ryo.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2_monthhave_ryo.html)、accessed on 2020.3.20.

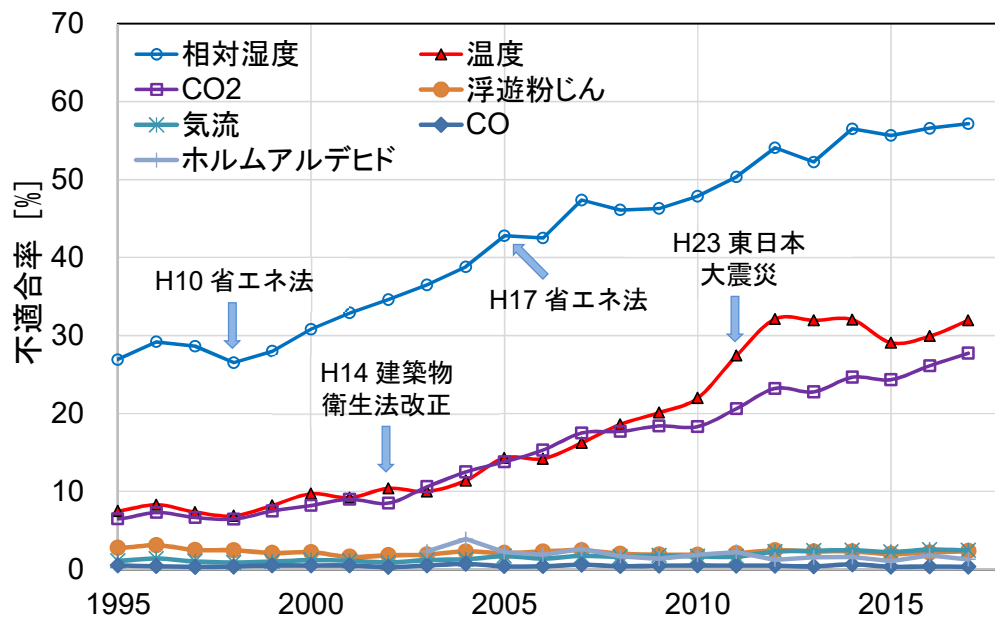


図 3-1 空気環境衛生管理基準に対する不適合率の推移

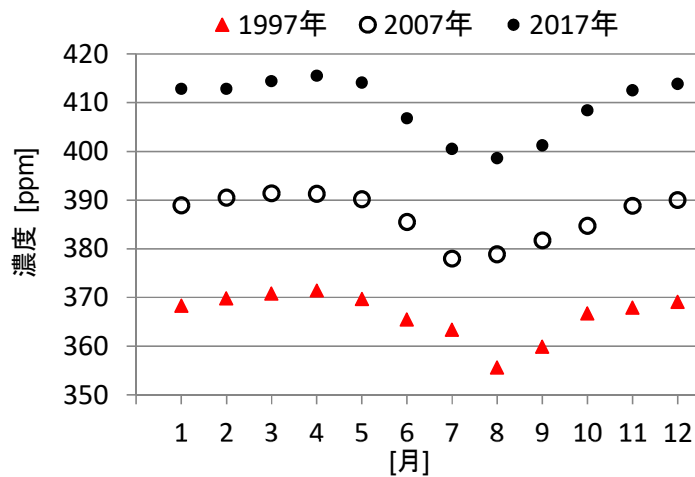


図 3-2 綾里観測所（岩手県大船渡市）の CO2 濃度の月別変動

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	

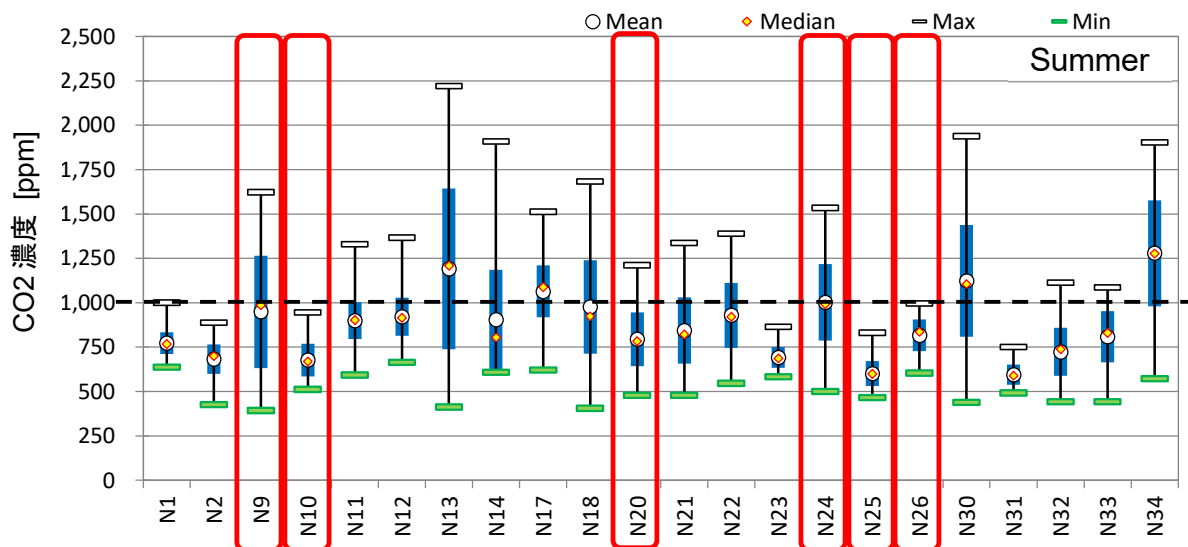


図 3-3 2019 年夏期測定 of CO<sub>2</sub> 濃度 (勤務日 5~10 日間、勤務時間帯 09~17 時の統計値)

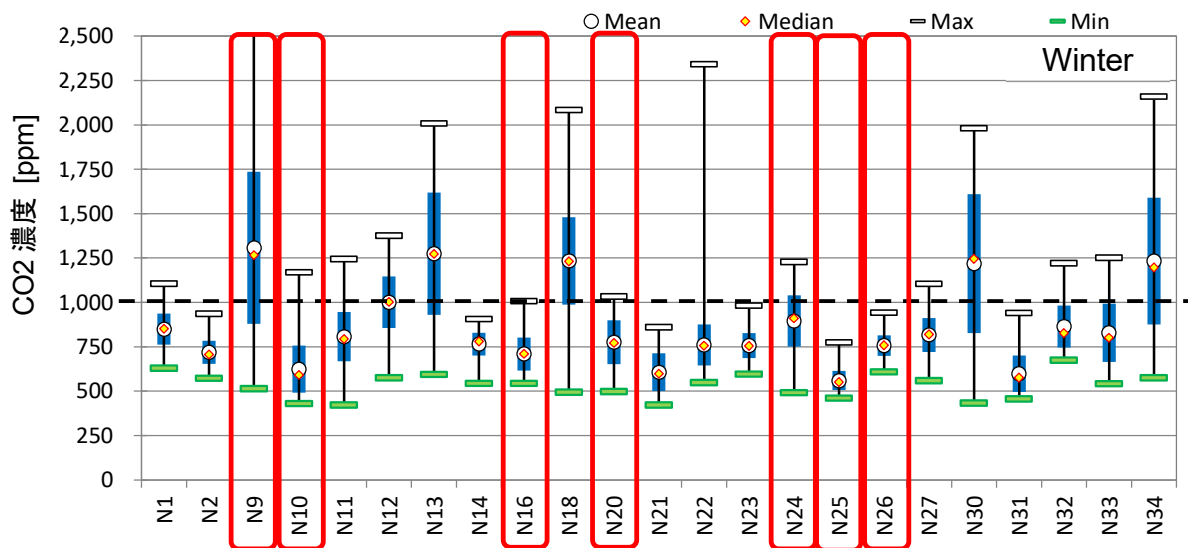


図 3-4 2019 年冬期測定 of CO<sub>2</sub> 濃度 (勤務日 5~10 日間、勤務時間帯 09~17 時の統計値)

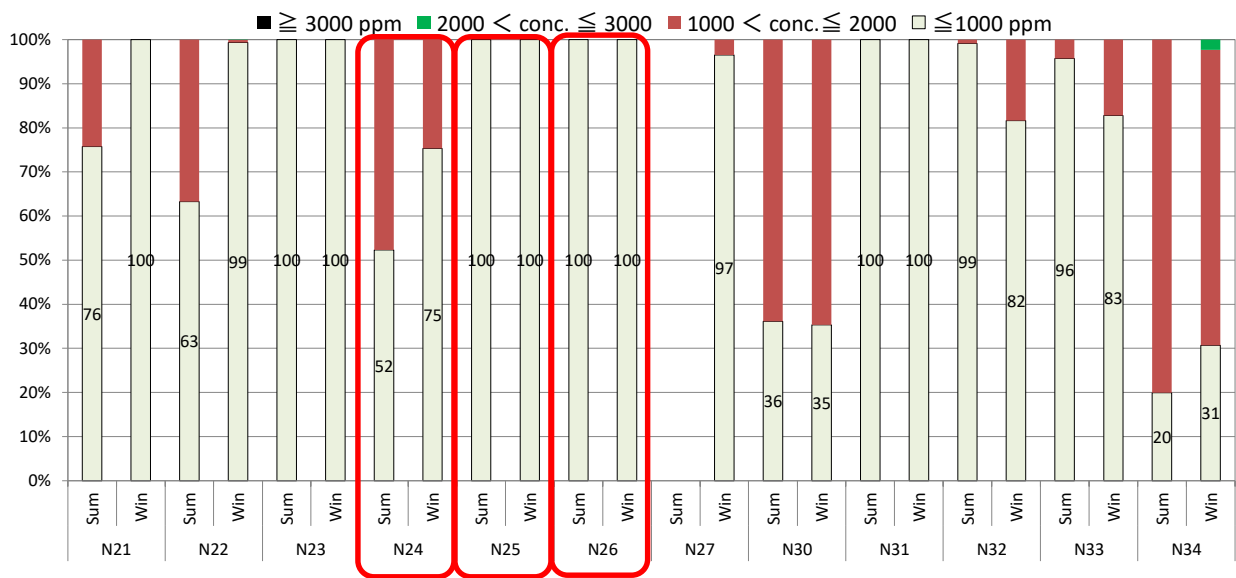
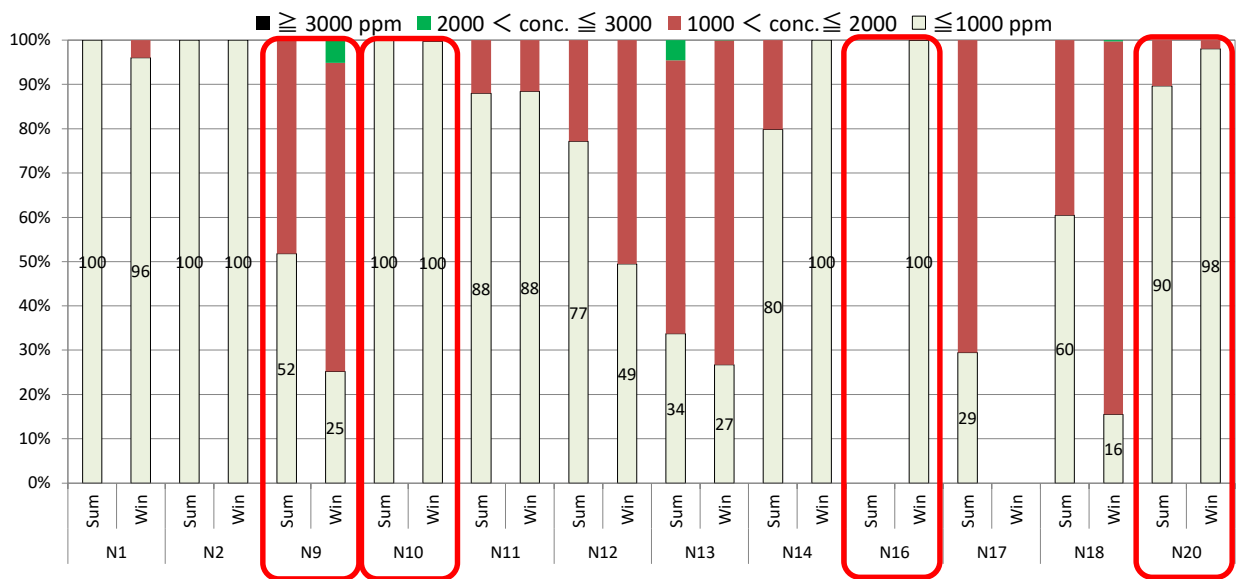


図 3-5 濃度区間の出現頻度 [%] (グラフ中の数字は 1000ppm 以下の適合頻度の割合)

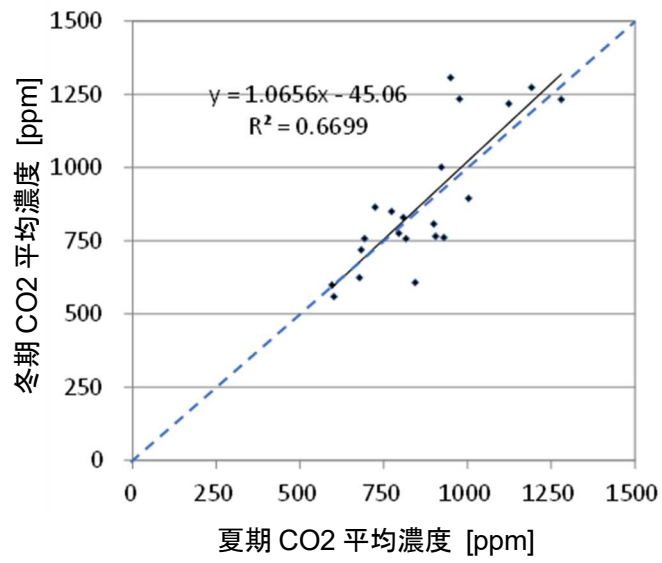


図 3-6 夏期と冬期の平均濃度相関