

# 総合病院の診察室における二酸化炭素濃度の実測に基づく換気性能の事例調査

# CASE STUDY OF VENTILATION PERFORMANCE IN A GENERAL HOSPITAL EXAMINATION ROOM BASED ON CARBON DIOXIDE CONCENTRATION MEASUREMENT

源城かほり — \* 1

キーワード：

病院, 診察室, 換気性能, 二酸化炭素濃度, 実測, 新型コロナウイルス感染症

Keywords:

Hospital, Examination room, Ventilation performance, Carbon dioxide concentration, Measurement, COVID-19

Kahori GENJO — \* 1

A general hospital examination room with the same ventilation method as a patient cluster occurrence of COVID-19 was measured to clarify its ventilation performance. The only ventilation to the room was the air from the corridor through the undercut of the door. It was found that, for each measurement point, the highest indoor carbon dioxide concentration was approximately 1200 ppm, which was 400 ppm higher than the air supply. If the number of people in the room is large, it is possible that the ventilation is insufficient. It is recommended to increase the ventilation volume and install a high-performance filter.

## 1. はじめに

新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の感染拡大に伴い,これまで高度急性期病院と災害拠点病院としての役割を担ってきた地域の総合病院では,新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の疑いのある患者については,通常診療病棟ではなく,陰圧室を備えた専用病棟での受け入れが実施されている。しかし,一般の外来部門においては陰圧室を備えていないことが多いため,何らかのウイルスが診察室に持ち込まれた場合,室内の換気状態によってはウイルス感染が拡大する可能性が考えられ,クラスターの発生にも繋がりがねない。一方,感染対策としての空調設備を中心とした設備の運用については,学会から各種の提言がなされており<sup>1)</sup>,厚生労働省が回避しようとしている三密<sup>2)</sup>の中でも特に「換気の悪い密閉空間」を改善するために換気的重要性が以前にも増して高まっている。日本では,病院設備設計ガイドライン(空調設備編)<sup>3)</sup>が整備されており,2013年に改訂され,患者や医療従事者に対する最適な環境を実現するための設備設計指針として運用されている。森田らは日米の病院設備設計に関するガイドラインにおける換気基準を比較した結果,両国のガイドラインでは原則として換気量基準が換気回数(回/h)で示されているが,別の非住宅建築における換気量基準では在室者1人当たりの換気量を定めているものも多いことから,快適かつ衛生的な室内空気環境のためには在室者数に合わせた換気量が重要であると指摘している<sup>4)</sup>。鍵らは病院における外来待合室,事務室,病院を対象とした空気質の実測調査を実施しているが,在室者が多い場合に室内二酸化炭素濃度が建築物衛生法の基準値1000 ppmを上回っていることを明らかにしており,その原因として多数の在室者と換気量不足を挙げている<sup>5)</sup>。

そこで,本研究では,ある総合病院の通常診療病棟の外来診察室における換気性能を明らかにすることを目的として,室内二酸化炭

素濃度の実測を行った。実測と同時に,診療時の在室者数についても可能な限り併せて調査することによって,在室人数を考慮の上,換気性能の評価を試みる。なお,当該病院では消毒や職員の健康チェックなどの感染防止対策を十分に講じていたにもかかわらず,当該診察室と同じ換気方式の室においてCOVID-19の患者クラスター発生が見られたことから,当該診察室の換気性能について明らかにすることは今後,同様の換気方式の診察室における感染防止対策を検討する上で重要であると考えられる。

## 2. 診察室における二酸化炭素濃度の実測

### 2.1 実測対象診察室の概要

2014年に長崎市内に建て替え開院した長崎みなとメディカルセンター(延床面積:48,720 m<sup>2</sup>,階数:地下2階地上8階,病床数:513床)のある病棟の2階外来部門における診察室1室を実測対象室とした。実測対象室は図1に示すとおりであり,床面積10.3 m<sup>2</sup>,天井高2.5 m,室容積25.8 m<sup>3</sup>である。外来部門は3つの部門に分かれているが,このうち1部門である診察室11室と診察待合室2室,スタッフヤード1つから成る一角を調査した。この部分の配列としては,中央にスタッフヤードを挟み,その両側に診察室,診察待合室が並んでいる。換気方式は第1種換気方式で,設計上の換気風量は給気60 m<sup>3</sup>/h,排気60 m<sup>3</sup>/h,換気回数は2.3回/hであり,清浄度クラスIVの最小風量の目安を満たしている<sup>3)</sup>。空調方式はCAV方式,空調設備は外調機(容量7.5 kW)とファンコイルユニットであり,2系統に分かれている2階外来診察室系統のうち,スタッフヤード側の廊下に分配されている給気690 m<sup>3</sup>/hが診察室等11箇所に対して供給されている。給気口はスタッフヤード側の廊下天井面にあり,各診察室ではスタッフヤードに通じるドアのアンダーカットを経由して給気されているが,窓は設置されていない。排気口

<sup>1)</sup> 長崎大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)  
(〒852-8521 長崎市文教町1-14)

<sup>1)</sup> Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Nagasaki Univ., Dr.Eng.

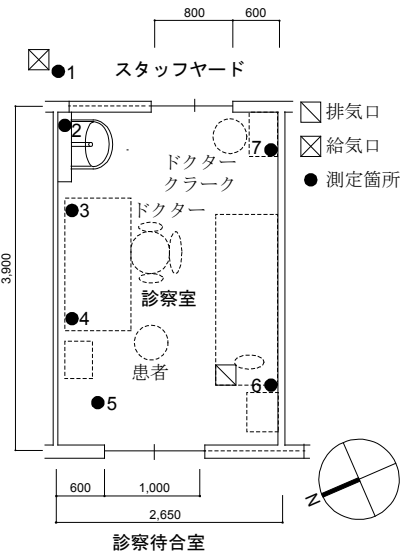


図1 実測対象室平面及び測定箇所

は対象室の天井面に設置されており、内部にはプレフィルタが設置されている。空調設備は冷房時において診察室使用時に設定温度24~25℃で運転されており、換気設備は平日7:20~18:00に運転されている<sup>注1)</sup>。外来受付は月曜から金曜の8:30~11:00である。

## 2.2 実測内容・方法

対象室及び外気における二酸化炭素濃度(以下、CO<sub>2</sub>濃度と呼ぶ)及び温湿度をCO<sub>2</sub>濃度・温度・湿度データロガー(TR-76Ui)<sup>注2)</sup>もしくはワイヤレスCO<sub>2</sub>濃度・温度・湿度データロガー(RTR-576)<sup>注2)</sup>を用いて5分間隔にて測定する。図1中に室内CO<sub>2</sub>濃度及び温湿度の測定箇所を●印にて示すとおり、室内CO<sub>2</sub>濃度及び温湿度を7箇所測定し、図面には記載されていないが、外気CO<sub>2</sub>濃度及び温湿度1箇所の計8箇所測定した。測定高さはNo.3, No.4, No.6を除き、1.0~1.2 mであり、No.3, No.4の高さは机上で0.7 m, No.6の高さは0.3 mである。図1中には給排気口の位置も示す。

測定箇所は、給気口のある廊下(No.1)、スタッフヤードからのドア(以降、ドアと略す。)を入れて右手(No.2)、ドクターの着座位置付近(No.3)、患者の着座位置付近(No.4)、部屋奥右手(No.5)、部屋奥左手(排気口側)(No.6)、ドア左手(ドクタークラーク<sup>注3)</sup>着座位置)(No.7)、外気(No.8)である(外気の図は省く)。なお、実測期間中のドアは診察待合室側は患者の出入り以外は閉じられていた。

実測期間は、2020年9月5日0:00~9月16日17:00である

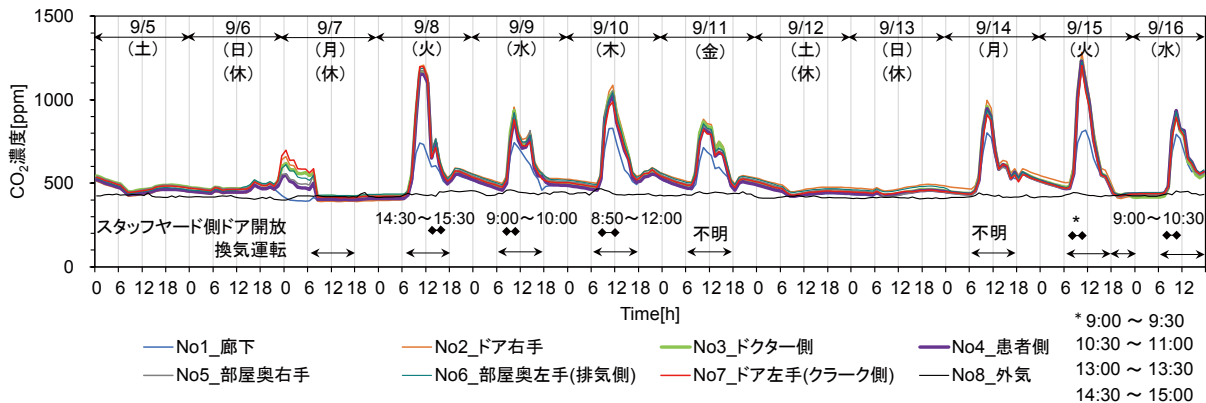


図2 診察室及び外気におけるCO<sub>2</sub>濃度の時刻別変動

が、9月6日~9月7日に台風10号が襲来し、一部の測定結果に影響が出ている。台風の為9月7日(月)は休診であった。なお、対象病院付近では2020年9月8日15:00から外気を測定し始めたため、それ以前は近隣(病院から3 km以内)での測定データを用いた。

## 3. 実測結果

### 3.1 CO<sub>2</sub>濃度

図2に診察室及び外気におけるCO<sub>2</sub>濃度の時刻別変動を示す。図中の折れ線グラフの下に、スタッフヤード側ドア開放時間と換気運転時間を併せて示している。CO<sub>2</sub>濃度のピークは外来診察時間帯に見られるが、特に9月8日(火)と9月15日(火)に高濃度となっており、9月10日(木)にもその2日間に次いで高いCO<sub>2</sub>濃度が認められる。9月8日は10:00~12:00に1000 ppmを超えており、No.2では11:00に1200 ppmを超えている。その後13:00以降、No.1の廊下を除く室内の各測定箇所のCO<sub>2</sub>濃度は600~700 ppm付近まで低下している。9月15日は9:00からNo.2, No.3, No.4では1000 ppmを超え、10:00にはNo.1の廊下を除く室内の各測定箇所で1200 ppmを超えている。12:00にはNo.2のみ1000 ppmを超えており、それ以外の測定箇所は1000 ppmを下回っている。

給気が近くにあるNo.1の測定箇所では1000 ppmを上回ることではなく、391~830 ppmの範囲に収まっている。No.1が830 ppm付近まで上昇しているのは9月10日の外来の診察時間中であり、10:00~12:00までの間の室内各測定箇所のCO<sub>2</sub>濃度が上昇しているが、これはスタッフヤード側のドアを開放した状態で診察している場合である。

図3に、測定期間中最も高濃度を示した9月15日(火)10:00の室内CO<sub>2</sub>濃度分布を示す。CO<sub>2</sub>濃度はNo.2, No.3, No.4, No.6, No.5, No.7, No.1の順に高く、いずれの測定箇所においても廊下の給気付近のCO<sub>2</sub>濃度に比べ、400 ppm程度高くなっており、1200 ppmを超過している。在室者数の調査結果によると、この日は外来患者者が多かったことがわかっており、それに加え、ドアの開鎖時間が長かったことも室内CO<sub>2</sub>濃度の上昇に影響していると考えられる。図3の測定結果より、測定器の器差等を考慮すると、対象室内の空気はほぼ完全混合であり、CO<sub>2</sub>濃度は一様であると言える。なお、測定期間のうち、平日における換気設備運転時間帯において建築物衛生法の基準値1000 ppmを満たしていた時数の割合は、廊下は100%であったが、その他の測定箇所は87.7~92.1%の範囲にあり、全般的に見ると、概ね良好な空気環境であると言える。

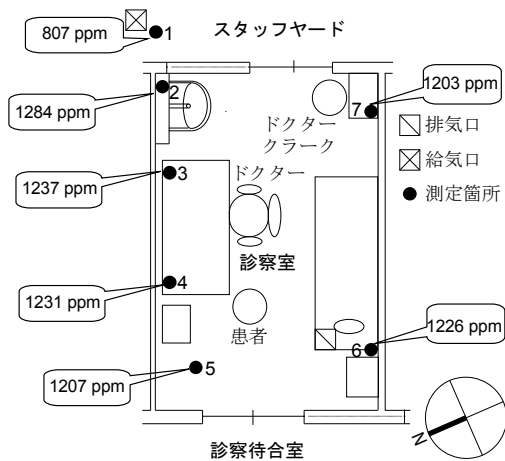


図3 診察室及び外気におけるCO<sub>2</sub>濃度の分布  
(2020年9月15日10:00, 外気CO<sub>2</sub>濃度435ppm)

### 3.2 温湿度

図4から図6に診察室及び外気における温度、相対湿度、絶対湿度の時刻別変動を示す。

図4より、室内温度には分布があり、外来診療時間帯にはNo.4の患者側が高く、No.6の部屋奥左手(排気側)で低い傾向にある。ただし、No.6では測定高さが床上0.3mと低かったことが影響しているものと考えられる。No.6を除く各測定箇所の外来診療時間帯の温度は24~26°Cの範囲にある。同じ時刻におけるNo.1とNo.6を除いた各測定箇所の室内温度差は9月15日の9:00に最大1.4°C見られたが、ほぼ均一であると言える。同時刻は、前述のとおり室内CO<sub>2</sub>濃度が最も高濃度を示した10:00の1時間前であり、外来患者数が多かったことが室内温度分布にも影響していると考えられる。

図5より、相対湿度の分布もやや見られるが、室内の各測定箇所の外来診療時間帯の相対湿度は40~50%の範囲にあり、外気相対湿度が48~89%であるのに比べ、除湿されていることがわかる。

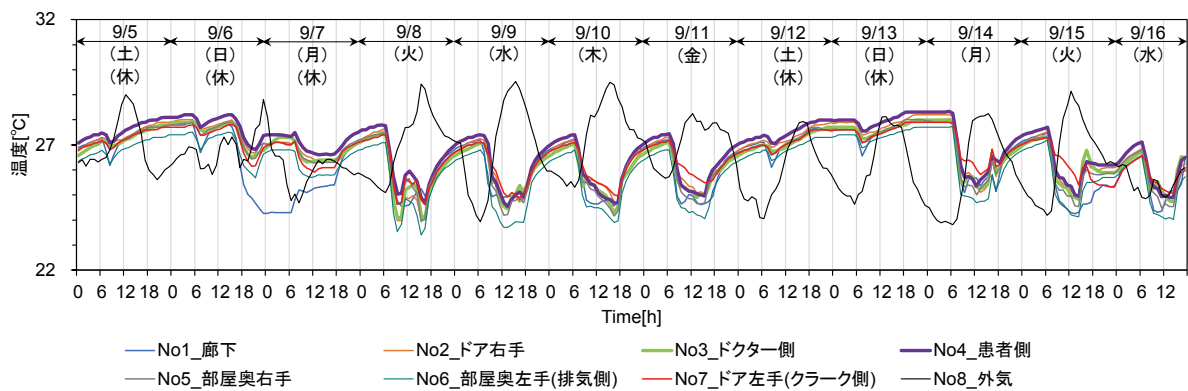


図4 診察室及び外気における温度の時刻別変動

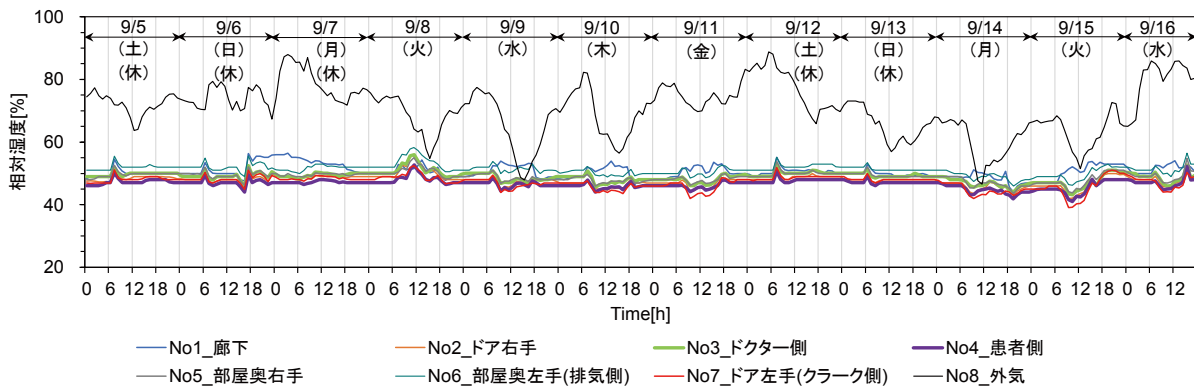


図5 診察室及び外気における相対湿度の時刻別変動

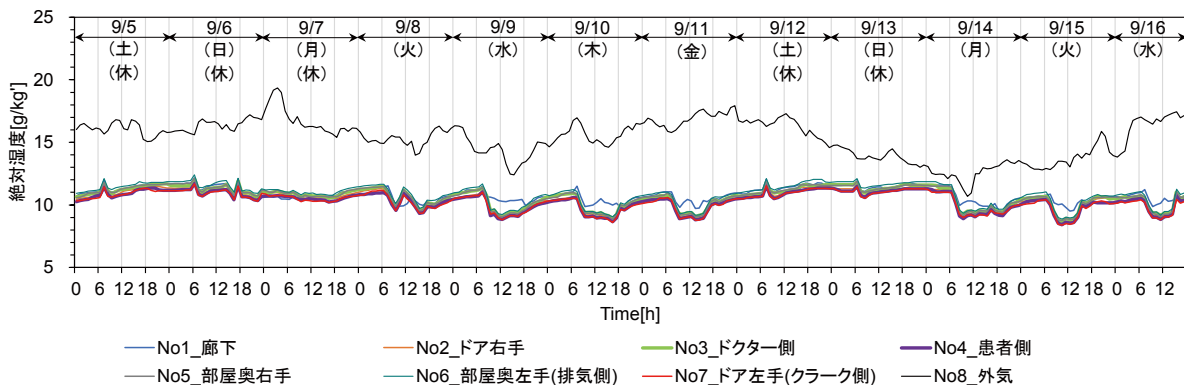


図6 診察室及び外気における絶対湿度の時刻別変動

図 6 より、絶対湿度の分布は温度や相対湿度のそれに比べると小さく、外来診療時間帯の絶対湿度は 10~11 g/kg'の範囲にあり外気絶対湿度の 11~18 g/kg'に比べ除湿されていることがわかる。

病院設備設計ガイドラインによると<sup>3)</sup>、診察室の温湿度の設計条件は、夏期において温度 26~27℃、相対湿度 50~60%が望ましいとされているが、これと比べ、対象診察室では温度、相対湿度ともやや低いが、問題のないレベルであると考えられる。

#### 4. 診察室の換気性能の評価と考察

##### 4.1 Air Stiffness 指標を用いた換気性能評価の試み

フランスで教室空気環境の指標として利用されている Air Stiffness 指標である ICONe<sup>®</sup> (注4)を用いて、本研究の実測対象室における換気性能の評価を試みた。図 7 に実測対象のうちのべ在室者数が明らかな 5 日間を対象に、診療室ののべ在室者数と各測定日における各測定箇所の ICONe による評価結果の関係を示す。なお、ICONe の算出対象時間は、各測定日におけるのべ在室者数の調査対象時間であった予約時間帯とした。ICONe の数値は 0: none, 1: low, 2: average, 3: high, 4: very high, 5: extreme air stiffness をそれぞれ示している。また、本分析から廊下は除外している。スタッフヤードへ通じるドアはのべ在室者数が 40 人と 41 人のときに閉鎖されており、それ以外の日はのべ在室者数が 43 人と 5 日間のうち最も多かった日においても開放されていた。図 7 より ICONe は最大でも 1.90 であり、low を上回り、average をやや下回っている。ただし、算出式がフランスのものであり、また教室を対象とした指標のため、より高い清浄性が要求される病院の診察室を対象とした場合には、同じように評価できない可能性がある。残念ながらのべ在室者数が明らかな 5 日間ののべ在室者数が 2 極化しているため正確には評価できないが、のべ在室者数が多い場合に各測定箇所における ICONe の数値が高くなり、空気質が悪化している傾向があるのではないかと推測される。また、最も空気質が悪化しやすいのはドア右手であり、ドア左手(ドクタークラーク側)を除けばその他の測定箇所の空気質は同程度のレベルと考えられる。

次に、図 8 に示すように、各測定箇所の CO<sub>2</sub> 濃度はいずれも給気のある廊下よりも高くなっている。また、廊下の CO<sub>2</sub> 濃度との相関を比較すると、図 8(c)に示すとおり No.4 の患者側の測定箇所との相関係数が最も高く、回帰式の回帰係数は図 8(a)に示すとおり No.2 のドア右手の測定箇所との関係式における回帰係数が最も大きい。以上までに述べたとおり、在室者が多く、ドアを閉鎖している場合に室内 CO<sub>2</sub> 濃度が高くなりやすく、室内 CO<sub>2</sub> 濃度には測定箇所によるばらつきが見られた。在室者が多い場合には換気のためにドアの開放頻度を高くする等の工夫をするのが望ましいと考えられる。

##### 4.2 診察室の換気性能に関する考察

コロナ禍における各国の空調・換気設備の運用ガイドラインに関するレビューによると<sup>7)</sup>、十分に外気を取り入れて換気することが SARS-CoV-2 の感染リスクの低減のために最も重要であり、各国とも共通してできるだけ外気導入量を多くすることや、空調設備の運転時間を在室の前後 2 時間を目安に増やすことが推奨されている。しかし、どの程度の換気量があれば空気感染のリスクを防止できるのかはまだ明らかにされていない。

実測対象の診察室では、窓がないため、換気性能の確保のために

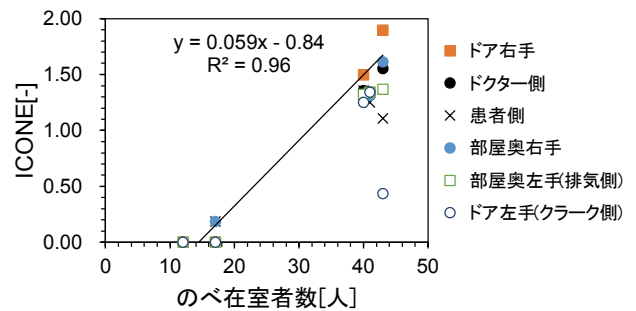


図 7 診察室におけるのべ在室者数と ICONe の関係

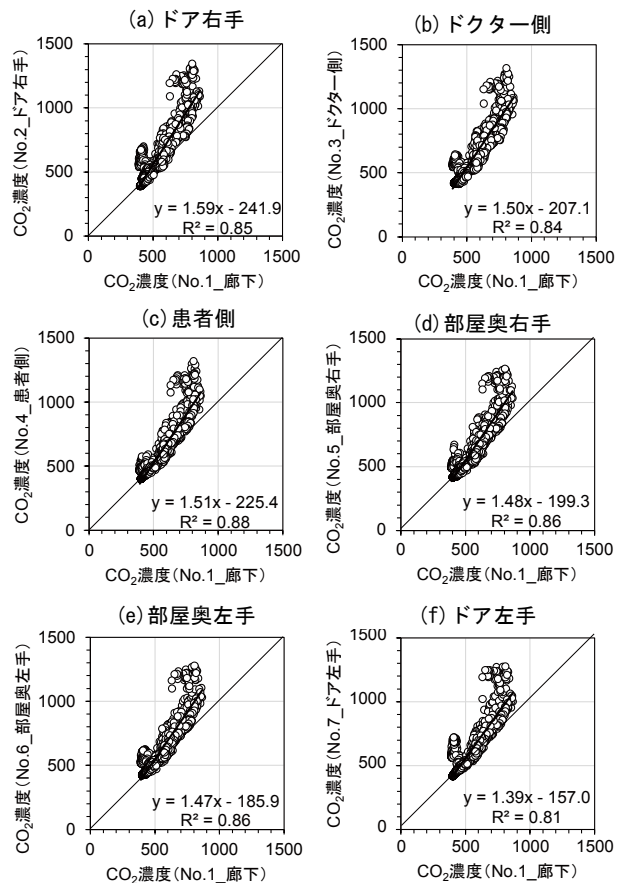


図 8 廊下とその他の測定箇所の CO<sub>2</sub> 濃度の関係

は換気設備を適切に運転して清浄な空気質を保持することが重要である。対象室では給気口が廊下であり、ドアのアンダーカットを通して給気されていた。したがって、診察室のスタッフヤード側のドアを開放した場合とドアを閉鎖した場合とでは給気量に差があると推測されることから、診察に支障がない場合にはできるだけドアを開放するのが望ましいと考えられる。また、実測対象の病院では、換気設備が平日の早朝から 18:00 までしか運転されていなかった。外来受付時間は 8:30 から 11:00 であるが、診察時間外にスタッフが室内で何らかの作業をしている場合もある。そのため、今後、検討すべき事項として、換気設備の運転時間を増やすなど、現状の換気設備において出来る限り何らかの換気方法の改善策を講じるのが望ましいのではないかと考えられる。さらには、フィルターの性能を向上させることも換気性能を保持し、感染症拡大防止のために効果

的であると考えられる。

ヒアリングによると、実測対象の病院では、各種感染症防止対策として、プレフィルターを高性能フィルターに変える対策を講じているということであった。また、対象病院では本事例調査後に、インバーター制御している外調機の風量を調整して最大 4%まで増加させているとのことであり、今後、大規模改修を行う際に、外調機の容量を 11 kW にまで増やすことも検討されている。本事例調査の結果から、調査対象とした診察室において CO<sub>2</sub> 濃度の分布がほぼ一様ながらも見られることがわかったが、それ以外に、室内の気流の状況を把握することも重要である。風上側に感染源があり、風下側に在室者がいる場合には、ウイルスの感染リスクがあるため、注意が必要である。

## 5. まとめ

2020 年 9 月の約 12 日間程度にわたり、長崎みなとメディカルセンター内において COVID-19 の患者クラスターが発生した室と同じ換気方式を持ち、窓が設置されていない診察室を対象として CO<sub>2</sub> 濃度を実測した結果、以下のことが明らかになった。

- ① 夏期における診察室の CO<sub>2</sub> 濃度は、外来診療時ののべ在室者数が多い場合やスタッフヤードへのドアの閉鎖時間が長い場合に建築物衛生法の環境衛生基準である 1000 ppm を超過する場が見られた。平日の換気運転時間帯において、この基準を満たしていた時数の割合は、廊下は 100%であったのに対し、その他の測定箇所は 87.7~92.1%であった。
- ② 診察室内の各測定箇所における CO<sub>2</sub> 濃度は、外来患者数が多く、ドアの閉鎖時間が長かった日に高い値を示しており、最も高濃度だった日時において、室内の各測定箇所の CO<sub>2</sub> 濃度は廊下の給気付近の CO<sub>2</sub> 濃度に比べ、400 ppm 程度高くなり、1200 ppm を超過していることがわかった。
- ③ 床面積 10 m<sup>2</sup>程度、室容積 26 m<sup>3</sup>程度の診察室において、室内 CO<sub>2</sub> 濃度はほぼ一様であるが僅かながら分布があり、概ねドア右手の CO<sub>2</sub> 濃度が高くなりやすく、ドア左手(ドクタークラーク側)のそれが低い傾向がある。
- ④ フランスの Air Stiffness 指標である ICONE を用いて測定対象診察室の空気質を評価した。実測対象室の ICONE は、最も悪化した場合でも 1.90 であり、6 段階評価のうち下から 2 番目の low を上回り、下から 3 番目の average をやや下回るレベルにあった。また、ICONE の数値は、予約時間帯におけるのべ在室者数が多い場合に上昇しやすく、空気質が悪化する傾向が見られた。

以上より、事例調査を実施した診察室では計画換気回数 2.3 回/h の換気量が確保されているが、外来診療中には室内 CO<sub>2</sub> 濃度が 1000 ppm を上回っている時間帯が発生していることが確認された。外来患者数が多い場合において、設計当初の換気風量では必要換気量が不足している可能性が考えられる。したがって、各種感染症防止対策としては、可能であれば室内 CO<sub>2</sub> 濃度 1000 ppm を下回る空気質を保持できるよう、フィルターを高性能なフィルターに変えたり、診察時間帯における風量を増やすなど、現状の換気設備において出来る限り何らかの換気方法の改善策を講じるのが望ましいのではないかと考えられる。さらに、対象診察室は室容積が 26 m<sup>3</sup>程度と比

較的小さく、窓がなく、ドアのアンダーカットからの給気であるため、新鮮外気導入量が少ない可能性がある。そのため、可能な限りドアを開放し、廊下側の給気を取り入れるのが望ましいと考えられる。ウイルスによる感染症防止対策の一つである空気感染防止の観点から、同様の給気方法が取られている別の病院の診察室においても、CO<sub>2</sub> 濃度をモニタリングして室の換気性能が確保されているかどうかを確認し、飛沫感染、接触感染の防止策に加えて、換気による空気質の保持に留意する必要がある。

## 6. あとがき

実測にご協力を頂いた長崎みなとメディカルセンターの関係各位に心から謝意を表します。

### 注

- 注1) 2020 年 9 月 15 日(火)には外調機の停止時刻を通常の 18:00 でなく実験的に 24:00 に変更している。
- 注2) TR-76Ui, RTR-576 の精度は、いずれも CO<sub>2</sub> 濃度が ±50 ppm ±読み値の 5%、温湿度が ±0.5℃, ±5% である。
- 注3) ドクタークラークとは医師事務作業補助者を意味している。
- 注4) ICONE は以下の式を用いて算出した。
- $$ICONE = (2.5 / \log_{10} 2) \log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$
- ここで、 $f_1 = n_1 / (n_0 + n_1 + n_2)$ ,  $f_2 = n_2 / (n_0 + n_1 + n_2)$
- $n_0$ : 1000 ppm 未満の時数
- $n_1$ : 1000 ppm 以上 1700 ppm 未満の時数
- $n_2$ : 1700 ppm 以上の時数

### 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会 新型コロナウイルス対策特別委員会：新型コロナウイルス感染対策としての空調設備を中心とした設備の運用について（改訂二版），2020 年 9 月 7 日。
- 2) 厚生労働省．"新型コロナウイルス感染予防のために"．健康や医療相談の情報（オンライン），入手先 <<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kenkou-iryousoudan.html>>，（参照 2021-01-15）。
- 3) 一般社団法人日本医療福祉設備協会：病院設備設計ガイドライン（空調設備編）HEAS-02-2013，一般社団法人日本医療福祉設備協会，2017。
- 4) 森田健太郎，尾方壮行，堀賢，田辺新一：日米の病院設備設計に関するガイドラインにおける換気基準の変遷，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.73-76，2019.9。
- 5) Kagi, N., et al.: A study on the Way of Maintenance of Sanitary Environment in Medical Facilities Part1—Outline of the Investigation and Legal Measurement Results on Indoor Air Environment, Transactions of the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No. 137, pp.39-46, 2008.8 (in Japanese). 鍵直樹，柳宇，池田耕一，西村直也，吉野博，小畑美知夫，齋藤秀樹，齋藤敬子，鎌倉良太：病院施設における室内環境の衛生管理に関する研究 第 1 報—空気環境法定測定に準じた実態調査，空気調和・衛生工学会論文集，No.137, pp.39-46, 2008.8。
- 6) N. Canha et al.: Assessment of ventilation and indoor air pollutants in nursery and elementary schools in France, Indoor Air, 26, pp.350-365, 2016。
- 7) Mingyue Guo et al.: Review and comparison of HVAC operation guidelines in different countries during the COVID-19 pandemic, Building and Environment, 187, pp.1-9, 2021。

[2021 年 2 月 1 日原稿受理 2021 年 4 月 2 日採用決定]