

在室者の位置情報に基づく三密回避システムの開発

～位置情報検知精度と自動換気制御機能による室内空気環境に関する検証～

安嶋 明日香 滝澤 勇輝
谷口 明 橋本 真伊知

概 要

近年、COVID-19(新型コロナウイルス)の世界的な流行により、三密回避の観点から、在室人数の制限や、必要換気風量の確保が実施されている。在室人数の管理には、BLEビーコン測位が用いられているが、障害物の影響により高精度の測位が難しいという課題がある。また、必要換気量の確保についても、窓の開放や換気風量を変更する際に、三密状態を把握できていないと過剰な換気を行い空調負荷の増大につながるという課題がある。

そこで、本研究では「同一空間利用者判定機能」、「自動換気制御機能」といった機能を持つ三密回避システムの開発を行い、位置情報の検知精度と、自動換気制御機能の有無による空調負荷の削減効果を検証した。その結果、本システムにおいては受信機の離隔距離を10メートル以上確保することで、在室者の位置情報検知率を向上させることがわかった。さらに、自動換気制御機能を用いて在室人数および室内二酸化炭素濃度に基づく換気風量制御を行うことで、感染症対策の観点から必要な換気風量を確保しつつ、空調負荷を抑制する効果があることを確認した。

Development of a Three Cs avoidance system based on the location information of people in a room

-Verification of indoor air environment by location information detection accuracy and automatic ventilation control function-

Abstract

In recent years, due to the global COVID-19 epidemic (novel coronavirus), from the viewpoint of avoiding the Three Cs, the number of people in one room is limited and the necessary ventilation air volume is secured. BLE beacon positioning is used to manage the number of people in a room, but there is a problem that high-precision positioning is difficult due to the influence of obstacles. In addition, as for securing the necessary ventilation volume, there is a problem that excessive ventilation will lead to an increase in air-conditioning load if the three Cs' conditions are not understood when opening windows or changing ventilation air volume.

Therefore, in this research, we developed a Three Cs avoidance system with functions such as "identifying users in the same space" and "automatic ventilation control function." The reduction effect was verified. As a result, in this system, it was found that the detection rate of people in the room was improved by securing a distance of 10 meters or more between the receivers. Furthermore, by using the automatic ventilation control function to control ventilation air volume based on the number of people in the room and the indoor carbon dioxide concentration, it has the effect of reducing air-conditioning load while ensuring the necessary ventilation air volume from the perspective of infectious disease countermeasures.

キーワード: 三密回避、換気制御
位置情報検知

§1. はじめに

近年、COVID-19(新型コロナウイルス)の世界的な流行により、従来とは異なる室内環境が求められるようになってきている。また、普段の生活においても感染症予防の観点から屋内外を問わず、「密集」、「密接」、「密閉」といった「三つの密」、すなわち三密状態を回避することに注目が集まるようになった。そのため、三密回避の観点から、在室人数の制限や、必要換気風量の確保が実施されている。さらに、罹患者が発生した場合には、接触者や移動経路の確認が実施されている。

在室人数管理や接触者、移動経路を確認するための手段の一つとして、BLE(Bluetooth Low Energy)ビーコン(以後、ビーコン端末とする)による位置情報測位が活用されている。だが、前述の測位技術は障害物の影響により高精度の測位が難しいという課題¹⁾がある。

また、必要換気量を確保するための手段として窓の開放や換気風量の増加が挙げられる。しかし、三密状態を把握できていないと過剰な換気を行い空調負荷の増大につながるという課題がある。

そこで、筆者らは位置情報を利用して在室人数や移動経路、同一空間利用者を判定する機能と、在室人数と環境情報を用いて三密状態を判断し、自動で換気風量を制御する機能を備えたシステムを開発した。

本稿では、本システムの位置情報の検知精度と、自動換気制御機能の有無による室内空気環境の違いと空調負荷の削減効果を検証した。

§2. システム概要

システム概要を図1に示す。温度、湿度、二酸化炭素濃度の室内環境情報の計測と位置情報の受信には「ゲートウェイ環境センサー」を利用した。また、位置情報の発信には

腕時計型およびクリップ型の「ビーコン端末」を用いる。

取得した各情報については、サーバーにデータを蓄積し、分析を行うことで、画面上へ各種アラートや情報の表示を行う。

また、本システムは、主に「移動経路追跡機能」、「同一空間利用者判定機能」、「自動換気制御機能」などの機能を備えている。

「移動経路追跡機能」は、各ユーザーの移動履歴を記録し、特定の期間における対象者の利用室や移動動線を表示する。

「同一空間利用者判定機能」は、各ユーザーの位置情報をもとに特定のユーザーと対象期間中に同じ部屋を利用した人物を特定する。

「自動換気制御機能」は、対象空間を密閉状態と判定した際に、中央監視システムなどと連携し、在室者一人当たりにつき必要換気量30[m³/h]を確保したうえで、室内二酸化炭素濃度が1,000[ppm]未満となる範囲において換気風量を制御する。

その他にも、本システムは環境情報を表示するための「環境情報可視化表示機能」、密閉または密集・密接状態を判断してアラートを発報する「三密アラート機能」を備える。

なお、密状態判定基準については下記の通り設定した。

(1) 密閉状態

厚生労働省が発行している資料²⁾に記載の「空調設備を用いて換気を行う際の空気環境基準」に基づき、本システムでは室内の二酸化炭素濃度が1,000[ppm]を超えた時点で「密閉状態」と判定する。

(2) 密接状態・密集状態

厚生労働省が発行している資料³⁾によれば、「密集」および「密接」については明確な指標や基準は存在しない。

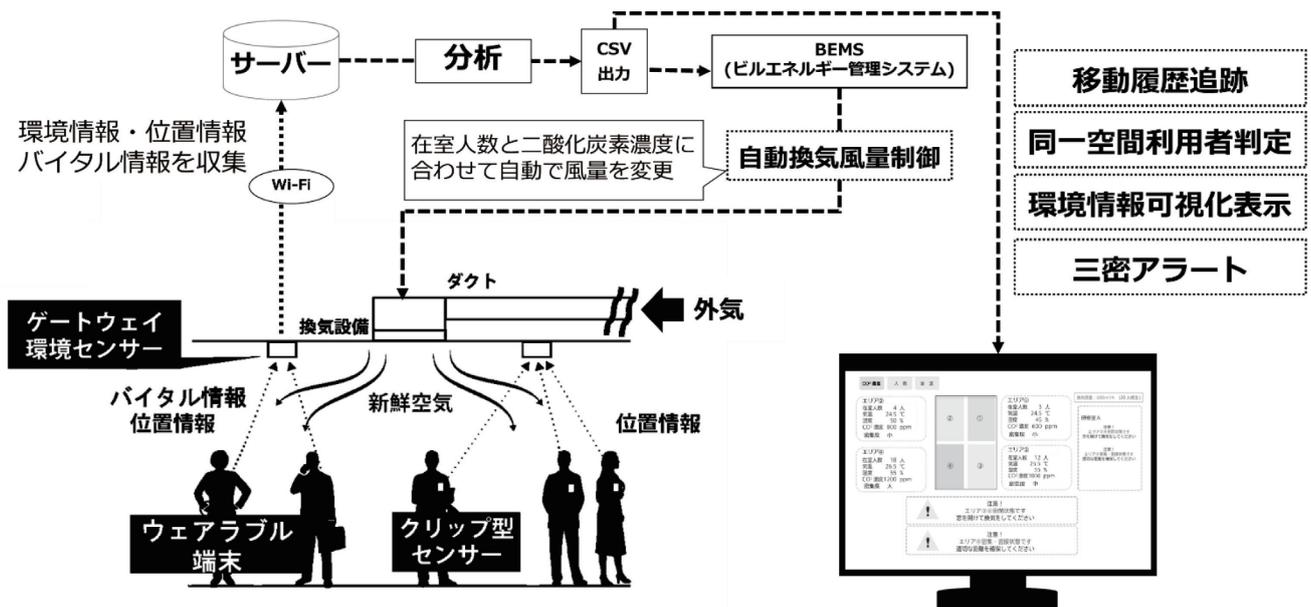


図1 システム概要図

そのため、「密集」や「密接」を避けるための手引き⁴⁾に基づき、本システムでは在室者同士が離隔距離2メートルを確保した状態で、各環境センサーの対象エリアごとに何人まで収容することができるかをあらかじめ算出し、エリア内の在室者数が算出値を超過した場合に「密集・密接状態」と判定する。

§3. 検知精度と自動換気制御機能の性能に関する検証

3.1 位置情報検知精度に関する検証

人数検知精度を確認する目的で、歩行時および静止時における在室人数合計値の乖離に関する検証を行った。また、位置情報検知精度を確認することを目的として、適切な環境センサーの離隔距離の検証を行った。

3.1.1 人数検知精度の検証

検証は図2に示すように、天井にゲートウェイ環境センサーが設置された部屋において、一定時間室内を通常の歩行速度で回遊した場合と、特定の位置において在室者が執務機の傍に着席し、PC作業を行った場合について行った。なお、被験者はいずれの検証においても6名とし、各被験者の両腕に腕時計型端末を1台ずつ装着させた状態で実施した。実験の詳細と結果を下記に示す。

歩行時における検証は、通常と同じ歩行速度で15分間室内を回遊し続けた際の、実際の在室人数合計値と、本システムにより検知した室内人数の合計値を比較した。なお、検証は時間を変え2回実施した。

検証結果を図3に示す。1回目、2回目どちらの検証においても本システムにより検知された室内在室人数の合計値の誤差は、実際の在室人数±1人の範囲に収まることが確認できた。

次に、着席時における検証は、特定の受信機に対して被験者の体の向きが①正面、②横向き、③背面となるようにした場合と、④腕を下ろして安静にした状態で正面となるようにした場合の計4種類の状況について各回32分間計測を行った。

検証結果を図4に示す。着席している被験者に対して受信機が①または②いずれかの位置に存在する場合、室内全体の在室人数と、本システムにおける検知人数合計値との誤差が±1人以内の範囲に収まることが確認できた。

一方で、③、④の状態時には、本システムにおける検知人数合計と実際の在室人数の差が2人または3人となる状況が計4回確認された。これはビーコン端末から発した電波が人体や机に遮られ減衰する影響により、位置情報が一時的に途切れた影響によるものと考えられる。

3.1.2 適切な環境センサー離隔距離の検証

この検証では、天井に8台のゲートウェイ環境センサーが設置されている部屋において、直近にある受信機以外で、

誤検知される確率を調査することで、適切なセンサー離隔距離を検証した。被験者は、図5に示す部屋の四隅にあるゲートウェイ環境センサー近傍に各箇所1名ずつ着席させる。

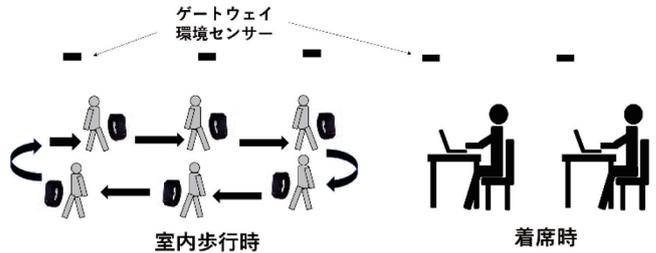


図2 在室人数合計値の乖離に関する検証概要図

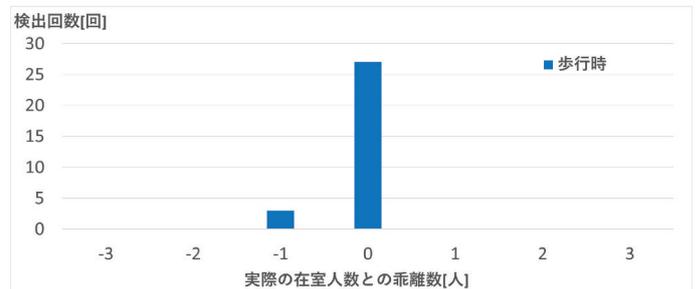


図3 実際の在室人数合計値との乖離(歩行時)

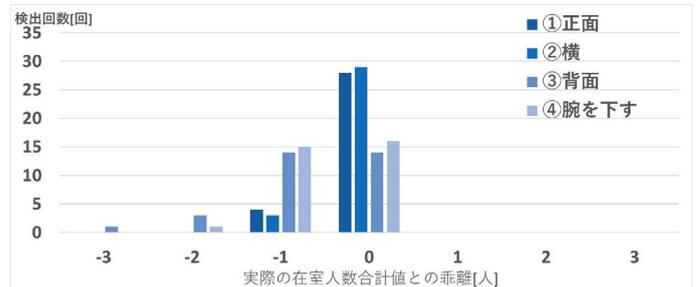


図4 実際の在室人数合計値との乖離(着席時)

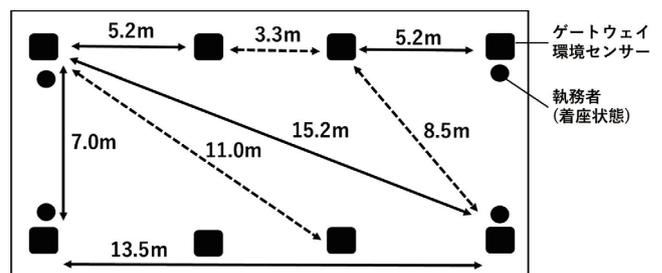


図5 各受信機の設置間隔と在室者の着席位置

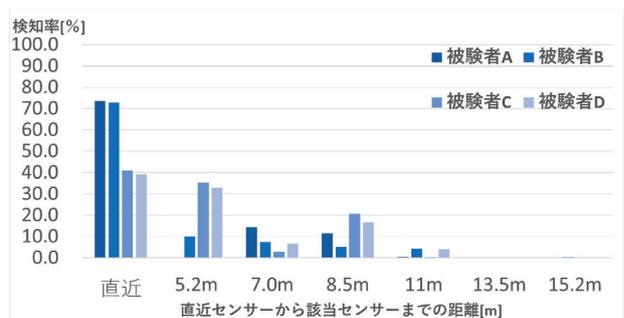


図6 受信機間の設置間隔と検知率の関係

検証結果を図6に示す。執務時の姿勢や腕の位置などの影響により、直近センサーにおける検知率は被験者によってばらつきがみられた。受信機と被験者の距離関係については、各受信機における対象者ごとの検知率が、被験者から5.2m離れた箇所では最大35%、7.0m地点では最大15%、8.5m地点で最大20%となった。

さらに、各被験者から10m以上離れた箇所にある受信機については対象者全員の検知率が5%未満まで低減する傾向が確認された。そのため、本システムにて採用したビーコン受信機については、機器間の設置距離を概ね10m以上確保することで、在室者の位置情報検知率を向上させることが可能であると考えられる。

3.2. 自動換気制御機能の検証

自動換気制御機能の有無により、実測による空調換気負荷への影響に関する検証を行った。さらに、自動換気制御機能の有無によって、室内の二酸化炭素濃度分布がどのように異なるかを気流解析により検証した。詳細を以下に示す。

3.2.1 実測による空調換気負荷への影響に関する検証

(1)検証方法

検証条件を表1に示す。

検証は、常に部屋の最大収容人数に合わせて計画された設計風量を一定とした場合(CASE-M1)と、自動換気制御機能を使用した場合(CASE-M2)について、室内二酸化炭素濃度、空調換気負荷および空調消費電力量の変化に関し比較を行った。

なお、配管などの圧損を考慮したうえで全熱交換器が換気できる機器最大風量は1,000[m³/h]であり、最小風量は在室人数および室内二酸化炭素濃度の値に関わらず200[m³/h]となるように制御される。

検証室は図7に示す通り、室内に吹き出し四方向タイプの天井カセット型空調機が4台、全熱交換器の給気口が室片側に4か所、室後方に排気口が3か所設置されている広さ約120m²の事務室とした。

被験者数については、日本国内におけるCOVID-19流行後以降は会議や研修のオンライン化に伴い、出社している数名の職員または講師が会議室として利用する機会が増えていることを考慮し、CASE-M1,2ともに被験者数3名として検証を行う。また、空調機については両ケースとも空調設定温度を24度とし、全台稼働している状態とした。

(2)検証結果

検証中の換気風量変化を図8に示す。なお、各ケースにおける換気風量の時系列変化については、全熱交換器運転時の周波数と電流値の相関関係をもとに風量を求めた。その結果、CASE-M1については換気風量1,000[m³/h]、CASE-M2については換気風量350~400[m³/h]の間で推移

していた。検証中の二酸化炭素濃度の推移を図9、図10に示す。室内の二酸化炭素濃度は両ケースとも400~550[ppm]程度で推移した。また、CASE-M2についても換気風量を絞ることで、室内の二酸化炭素濃度が急激に上昇するといった傾向は見られなかった。

表1 検証条件

	在室者数	自動換気制御機能	換気風量
CASE-M1	3名	なし	1,000[m ³ /h]
CASE-M2	3名	あり	在室人数×30[m ³ /h・人] またはCO ₂ 濃度に基づき変動

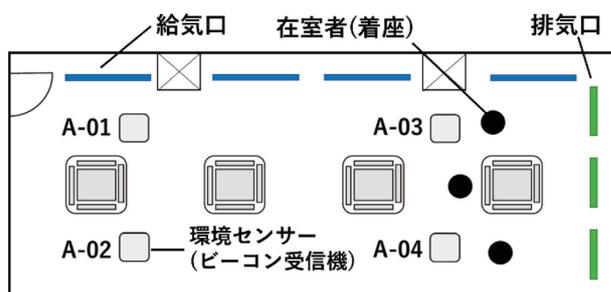


図7 検証室概要

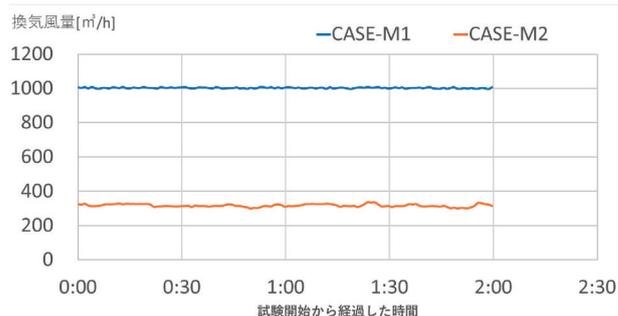


図8 各ケースにおける換気風量の比較

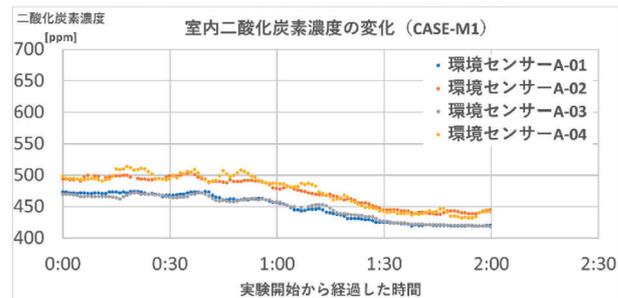


図9 CASE-M1における室内二酸化炭素濃度の変化

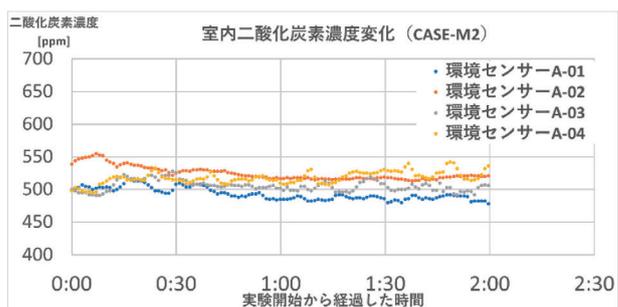


図10 CASE-M2における室内二酸化炭素濃度の変化

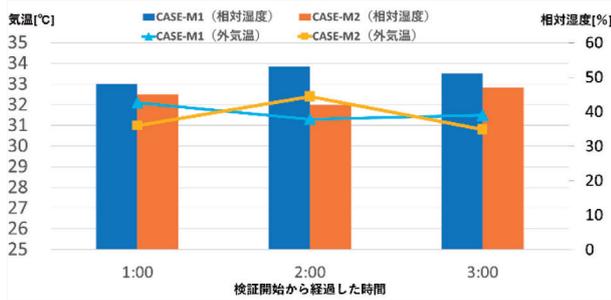


図11 検証中の外気温湿度変化

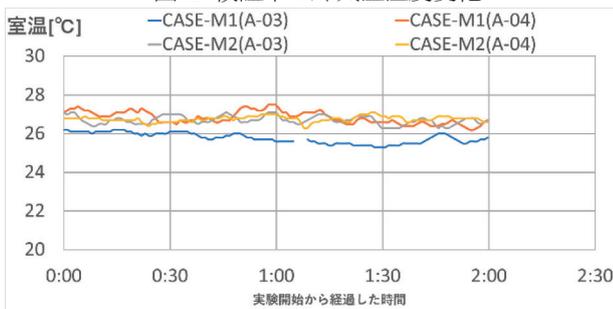


図12 検証中の室温変化

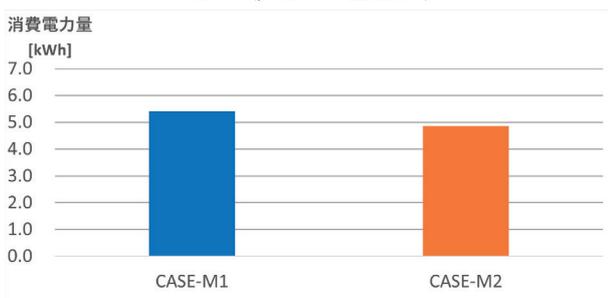


図13 空調室外機における累積消費電力量の比較

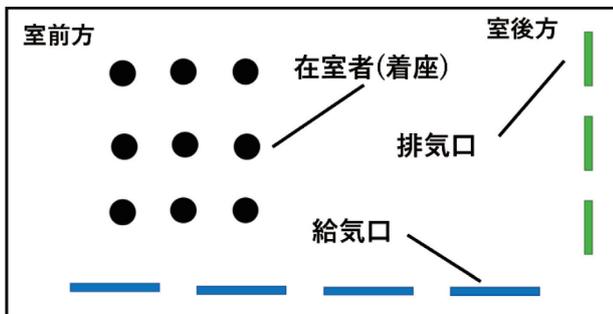


図14 解析モデル概要

表2 解析条件

	在室者数	室全体の換気風量	給気箇所	給気口あたりの風量
CASE-S1	9名	270[m ³ /h]	4か所	67.5[m ³ /h・か所]
CASE-S2			2か所	135[m ³ /h・か所]

図11に検証時の外気温湿度を示す。外気条件についてはCASE-M1,2ともに検証時間中における温湿度に関し大きな差はみられず、室後方に設置された環境センサーA-03,A-04にて計測した室内温度についても、図12に示す通り両ケース間における温度差が概ね2°C以内に収まっていることが確認できた。

さらに、図13に示す通り空調室外機における消費電力量の累積値を比較するとCASE-M2における空調室外機消費電力量はCASE-M1と比較して約9.2%削減されていることがわかった。

なお、今回の検証では全熱交換器により換気を行った影響により、換気負荷の削減率は10%弱程度となったが、全熱交換器以外の換気装置を用いて自動換気制御を行えば、より消費電力量を削減することができると考えられる。

以上より、自動換気制御機能を用いて換気風量を制御することで、三密状態を解消しつつ、換気による空調負荷を削減できることがわかった。したがって、在室者の人数と室内環境情報を換気制御に取り込むことで、空調負荷を削減しつつ室内空気環境を保つことができるといえる。

3.2.2 気流解析を用いた空気環境の違いに関する検証

ここでは、室の中で人の滞在位置が明確になっていると人の滞在している箇所だけ局所換気を行うとより効率的な換気が行えると考え、在室者が存在する場所に対して自動換気制御機能を用いて換気風量のみを制御した場合と、換気風量を制御し局所的に換気を行った場合について、二酸化炭素濃度分布の違いを気流解析により検証した。

(1) 検証概要

モデル概要を図14、検証条件を表2に示す。解析には、ソフトウェアクレイドル社のSTREAMを用いた。

解析モデルは、縦9m×横14m×天井高2.7mの事務室とする。また、室内には在室者9名が室前方に偏った状態で着席しており、呼吸により顔近傍の高さから一人当たり35.9[g/h]の二酸化炭素が排出される設定とした。

換気条件については、部屋の片側に換気装置の給気口を4か所、室後方に換気装置の排気口を3か所設置した。また、給気口からは二酸化炭素濃度400[ppm]の新鮮外気を、表2に記載の風量設定にて供給した。排気についてはいずれのケースにおいても、室内の排気口1か所あたり90[m³/h]排気される計画とした。

検証は、従来通り室全体一様に換気を行ったCASE-S1と、在室者のいる位置に合わせて局所的に換気を行ったCASE-S2の2パターンに関して、室内における二酸化炭素濃度分布の違いを確認した。

なお、本検証においては、空調機器による気流への影響は考慮しないものとする。

(2) 解析結果

解析の結果を図15に示す。

CASE-S1における室内二酸化炭素濃度分布は、在室者が偏って分布している室前方付近において1,000[ppm]以上となる箇所が多くみられた。これは、給気口1か所当たりの

風量がCASE-S2と比較して減少した影響により、二酸化炭素が室全体へ拡散せず室前方へ滞留したものと考えられる。

一方、CASE-S2については在室者を中心として二酸化炭素濃度1,000[ppm]以上となる箇所が発生したものの、CASE-S1と比較してその範囲が狭くなることわかった。これは、給気箇所を室前方の2か所に限定したことで給気口1か所あたりの風量が増加し、在室者の口から排出された二酸化炭素がCASE-S1よりも広範囲へ拡散したことで、室前方の二酸化炭素濃度が薄まったためと考えられる。

以上より、在室者の位置に基づいて換気条件を変えることで、同風量であっても、効率的に換気を行えることが確認できた。そのため、在室者の人数だけでなく位置情報を換気制御に取り込むことで、更なる省エネ効果が期待できると考えられる。

§4. まとめ

位置情報を利用して在室人数や移動経路、同一空間利用者を判定する機能と、在室人数と環境情報を用いて三密状態を判断し、自動で換気風量を制御する機能を備えたシステムを開発した。

位置情報については、在室人数と位置情報の検知精度に関する検証を実施した。その結果、在室人数の検知については受信機とビーコン端末の間に障害物がなければ実際の在室人数に対し、概ね±1人以内の範囲で検知できることが分かった。また、位置情報検知精度については、本システムにおいては受信機の離隔距離を10メートル以上確保することで、在室者の検知率を向上させることができると考えられる。

換気制御機能については室内の在室者数が少ない場合において、在室人数および室内二酸化炭素濃度に合わせて制御を行うことで、本稿で行った実証試験では従来の換気方法と比較して空調負荷を約10%削減できることがわかった。さらに、自動換気制御機能と局所換気を組み合わせることで二酸化炭素濃度分布がどのように変化するかを気流解析により確認した。その結果、在室者の位置に合わせて給気を行うことで二酸化炭素濃度が1,000[ppm]を下回ることがわかった。そのため、在室者の人数だけでなく位置情報を換気制御に取り込むことで、更なる省エネ効果が期待できると考えられる。

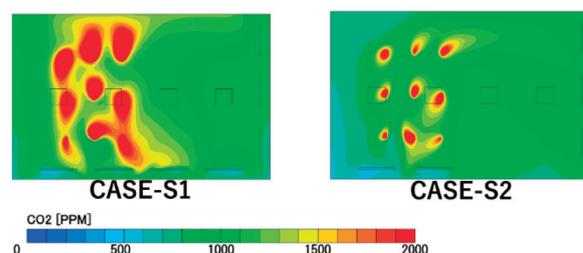


図15 解析結果

参考文献

- 1) 工藤大希、堀川三好、古館達也、岡本東: 近接ビーコンを利用した屋内測位手法の提案、研究報告モバイルコンピューティングとパーベイスシステム2015-MBL-77、PP.1-6、2015.11
- 2) 厚生労働省: 「換気の悪い密閉空間」を改善するための方法、<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>
- 3) 首相官邸、厚生労働省: 三つの密を避けましょう、<https://www.kantei.go.jp/jp/content/000061868.pdf>
- 4) 首相官邸、厚生労働省: 三つの密を避けるための手引き、<https://www.kantei.go.jp/jp/content/000062771.pdf>

ひとこと

感染症の流行により、これまでと異なる対応が建築環境分野でも求められるようになっていますが、本研究で得られた知見を活かして今後の研究や開発に貢献できればと思います。



安嶋 明日香