

感染診察室・病室における気流シミュレーションによる気流性状・換気効率の確認
Confirmed Air Velocity and Ventilation Efficiency by Airflow Simulation in
Infection Examination Rooms and Hospital Room

○村上 奈々子（竹中工務店） 横山 喜宜（竹中工務店） 萩平 隆司（竹中工務店）
Nanako MURAKAMI*1 Kiyoshi YOKOYAMA*1 Takashi HAGIHIRA*1
*1 Takenaka Corporation

In this study, we conducted airflow simulations to confirm airflow properties and ventilation efficiency in an infectious disease laboratory and infectious disease ward from the perspective of infection risk.
Based on the results, we revised the plan to make it more effective.

はじめに
新型コロナウイルス感染症（COVID-19）拡大により、多くの医療施設で日常的に感染患者の受入れが行われてきた。通常診療を行いながらの受入れのため、他の患者や医療スタッフへの感染防止の観点から、病棟や外来エリアには、感染患者受入れ専用の病室や診察室、検査室等の整備が求められた。空調・換気計画にあたり、換気回数やフィルター種別等の仕様設定だけでなく、感染患者から医療スタッフ、感染患者受入対象室から共用部への気流、室全体の換気効率についても一般の病室・診察室等に比べ配慮が必要となった。

これまでは特殊な室以外、過去事例や実績等から室内機や給排気口の配置を平面的に決定していた。特に病室や診察室など簡潔な室では、立体的な検証や飛沫核濃度を考慮した検証が不足していたのが現状である。

そこで、一般的な空調・換気方式で計画した病室や診察室等における気流性状を確認するため、室内機配置やフィルター仕様、換気風量や制気口配置、パーティションの有無等条件を変え、様々なケースで気流シミュレーションを行った。結果ごとに、感染対策の視点を踏まえた考察を行うことで一事例への適用だけでなく、様々な室条件での設計にも傾向を把握できる資料として活用できるものとした。

本報では、現在建設中の某総合病院における感染診察室や感染病室に対し気流シミュレーションを行い、気流性状や換気効率の検証を行った結果や、結果に基づき実際の空調・換気計画を見直した内容について報告する。

1. 概要
1.1 建物概要

某総合病院の建築概要を Table. 1. 1. 1、外観を Fig. 1. 1. 1 に示す。地域医療の中核を担う災害拠点病院であり、近畿圏の救命救急体制をとる医療機関の一つで



Fig.1.1.1 Perspective exterior

Table 1.1.1 Building outline

所在地	大阪市天王寺区
用途	病院（総合病院）
構造・階数	鉄骨造
規模	地下1階、地上8階、塔屋2階 建築面積：10,713.75㎡、延床面積：58,754.22㎡
病床数	約650床
主な室用途	地下1階：放射線治療、放射線診断等 1階：総合待合、救急、放射線検査、感染診察室、外来等 2階：外来、病理等、3階：集中治療、手術 4階：中央材料、医局、5-8階：病棟（各階感染病室含む）

清浄度クラス	該当室種別	今回建物の対象室	最小風量のめやす		室内圧	給気最終フィルターの効率	
			外気量	室内循環風量		外気処理空調機	室内循環機器
IV	一般室	診察室、一般病室等	2回/h	6回/h	等圧	中性能フィルター	プレフィルター
V-1	汚染管理区域	感染診察室、感染病室	2回/h	12回/h	陰圧	中性能フィルター	中性能フィルター 感染診察室はHEPA
V-2	汚染管理区域（全排気）	ER、解剖室等	全排気	12回/h	陰圧	中性能フィルター	—
V	拡散防止区域	WC、不潔リネン、汚物処理室、更衣室等	—	10回/h	陰圧	—	—

Fig.1.1.2 Cleanliness class setting

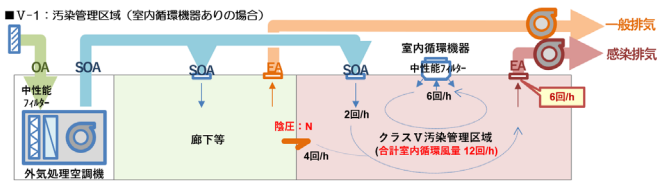


Fig.1.1.3 Contaminated area setting

ある。手術室を 16 室、集中治療室を 65 床備え、24 時間体制の高度集中医療を提供するとともに、感染症患者受入れにも対応した計画としている。

感染患者受入れ対象室の空調・換気計画においては、病院空調設備の設計・管理指針指針（HEAS-02-2022）の清浄度クラスV；汚染管理区域に基づき、室用途に合わせて細分化した。感染診察室および感染病室は清浄度クラスV-1 に分類し、外気導入量は新鮮空気 2 回/h 換気＋パス 4 回/h 換気の計 6 回/h 換気、排気量は室外排気 6 回/h 換気＋中性能フィルターによる室内循環 6 回/h 換気の計 12 回/h 換気の陰圧室と設定した。感染診察室はより確かな室内循環回数とするため HEPA フィルターを採用した。外気導入はすべて外気処理空調機にて給気する計画とした（Fig. 1. 1. 2、Fig. 1. 1. 3）。

1.2 感染診察室および感染病室の概要

感染診察室の建築プランおよび風量バランス図を Fig. 1. 2. 1 に示す。感染診察室は、待合室やスタッフ室を前室的に配置した。給気は、天井給気口からだけでなく、スタッフ室からパスにて 120m³/h 流入させ陰圧を形成した。感染診察室の室内機は天井カセット型の HEPA 付 FCU を採用し、660m³/h の循環風量とした。排気は、天井排気口より 190m³/h 排気する計画とした。

感染病室（個室）の建築プランおよび風量バランス図を Fig. 1. 2. 2 に示す。4 床室の気流解析は 6 パターンにて検証済み¹⁾のため本報では個室の報告を行う。平常時は新鮮空気 100m³/h を給気し、WC にて排気する計画。陰圧切替時は、病室内の感染排気系統にて 4 回/h 分（160m³/h）の排気を追加し、計 6 回/h 分（260m³/h）の排気を計画した。廊下からパスにて 160m³/h 流入させ陰圧を形成した。

2. 気流シミュレーション概要と結果

2.1 気流シミュレーション概要と解析ケース

感染診察室・感染病室（個室）の室内気流分布や患者から医師への気流等の気流性状、室全体の換気効率を検証するため、気流シミュレーションを行った。解析には STAR-CCM（Siemens）の乱流モデルを用い、少ないメッシュ数で形状近似精度が高い非構造格子による定常解析を行った。解析モデル（ベース案：某総合病院の設計時計画）と設定条件を Fig. 2. 1. 1 に示す。室内の温湿度等の条件に加え、患者から医師への飛沫核・呼気の影響を確認するため、飛沫核濃度²⁾および呼気排出濃度²⁾も設定した。

感染診察室の解析ケースを Fig. 2. 2. 1、感染病室（個室）の解析ケースを Fig. 2. 2. 2 に示す。設計時計画であるベース案に対して改善案や各種影響を把握するため、

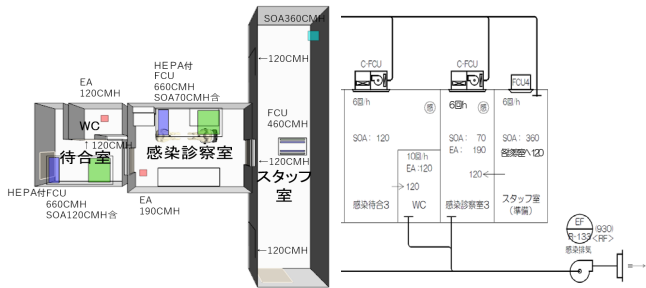


Fig.1.2.1 Infection examination rooms plan and air flow

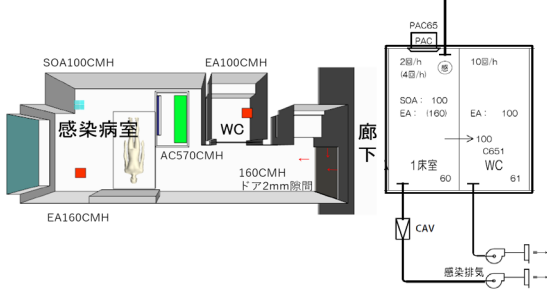


Fig.1.2.2 Infection hospital rooms plan and air flow

	感染診察室	感染病室
モデル		
Case	CaseA-1	CaseB-1
室内環境	26℃/湿度成行	26℃/湿度成行
室内機	温度 26℃ 風向 下向き30° フィルター HEPA	温度 26℃ 風向 下向き30° フィルター 中性能 (JIS比色法65%)
[濃度] 飛沫核・呼気	[患者]発話：5.21L/min 0.299m/s、飛沫核：620×10-9m ³ /m ³ （計算上は1で与えた） 口：17×17mm 32℃ 吸：22m/s (0.18sec)、飛沫核：779×10-9m ³ /m ³ [医師]吸気(鼻)：14.4L/min 0.00024m ³ /s、表面温度 32.7℃、CO ₂ 34000PPM	

Fig.2.1.1 Simulation base type

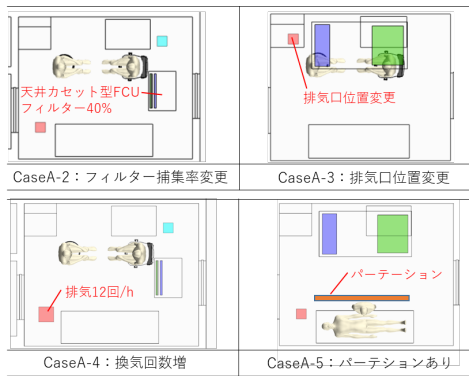


Fig.2.2.1 Analysis pattern of Infection examination rooms

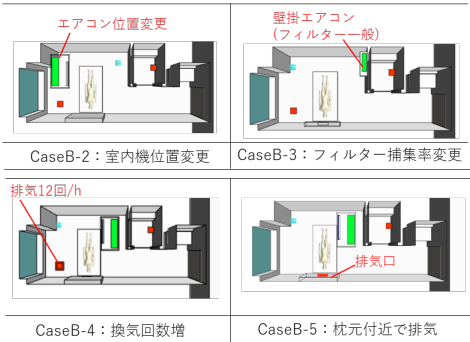


Fig.2.2.2 Analysis pattern of Infection hospital rooms

室内機の位置、フィルター捕集率、排気口の位置、換気回数を変え、診察室はパーティションの有無、病室（個室）は排気の位置を変えた各々5つのケースで解析を行った。

2.2 気流シミュレーション結果と考察

感染診察室の解析結果を Fig.2.3.1、感染病室の解析結果を Fig.2.3.2 に示す。

CaseA-1 ではFCU 吹出口の誘因作用による気流によって医師側に飛沫が流れている。医師と患者との離隔をさらに 300mm 確保すると改善される結果が得られた。CaseA-2 では飛沫が十分に捕集されずに室内全体に拡散し、飛沫濃度が高くなっており、高濃度の飛沫が医師頭上を流れている。CaseA-3 では飛沫の拡散範囲が比較的広く、FCU 吹出より医師前面に飛沫が流れる可能性がある。CaseA-4 では空気齢の状態は良くなるが、HEPA による循環風量が低減したことから室全体の飛沫濃度が上昇し、高濃度飛沫の分布は医師上部まで拡散している。CaseA-5 ではスタッフ室引戸隙間からの気流によって処置台上の患者からの飛沫が待合室側へ流れる傾向が見受けられた。

CaseB-1 では飛沫がベッド圏外へ流出する可能性があるものの、飛沫濃度は一様に低い。CaseB-2 では飛沫は一度窓側へと流れるが室上部の気流に沿ってベッド圏外へ流れる傾向がある。室形状の特性と室内機配置を窓側に寄せたことでCaseB-1 より高濃度範囲が拡大した。CaseB-3 ではフィルター捕集率の低下により、飛沫は拡散され、室全体の飛沫濃度が一様に高くなる。CaseB-4 では換気量が増えたことにより空気齢が改善し、ベッド上の気流が窓側に向かい排気口に吸い寄せられ、室全体の飛沫濃度は下がる。CaseB-5 では枕元付近への排気の気流は生まれるが室内機による乱流の影響が上回るためCaseB-1 と類似した結果となった。空気齢については、換気回数を増やした A-4、B-4 以外のどのケースも、概略で2回以上の換気風量が確保できており、室全体のよどみもないことが確認できた。

3. 気流シミュレーション結果に基づく計画の見直し

感染診察室については、ベース案（設計時計画）の気流シミュレーション結果から、HEPA 付FCUの吹出口と吸込口の気流が患者と医師周辺の飛沫の流れに影響を及ぼすため、施工図（天井伏図）にて施工方法も考慮し、照明器具他設備と HEPA 付FCU や給排気口の配置調整を行った。調整後の配置で再度気流シミュレーションを行い、

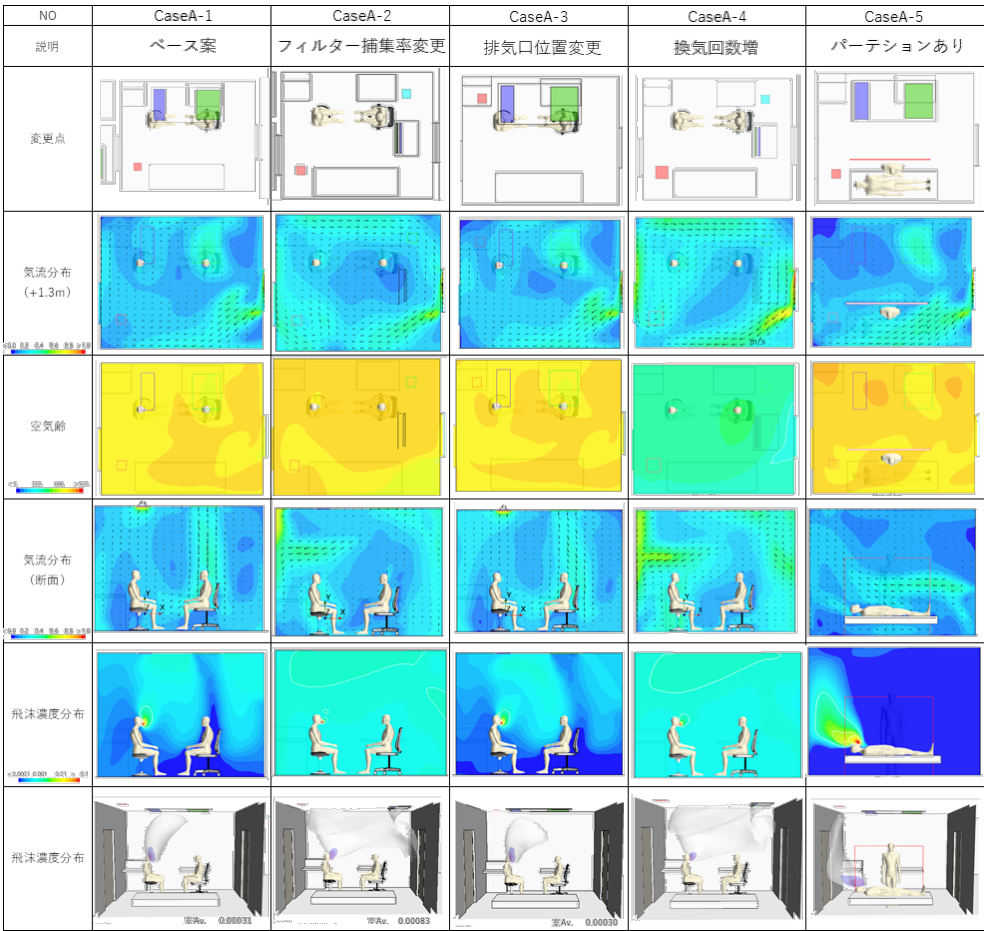


Fig.2.3.1 Analysis results of Infection examination rooms

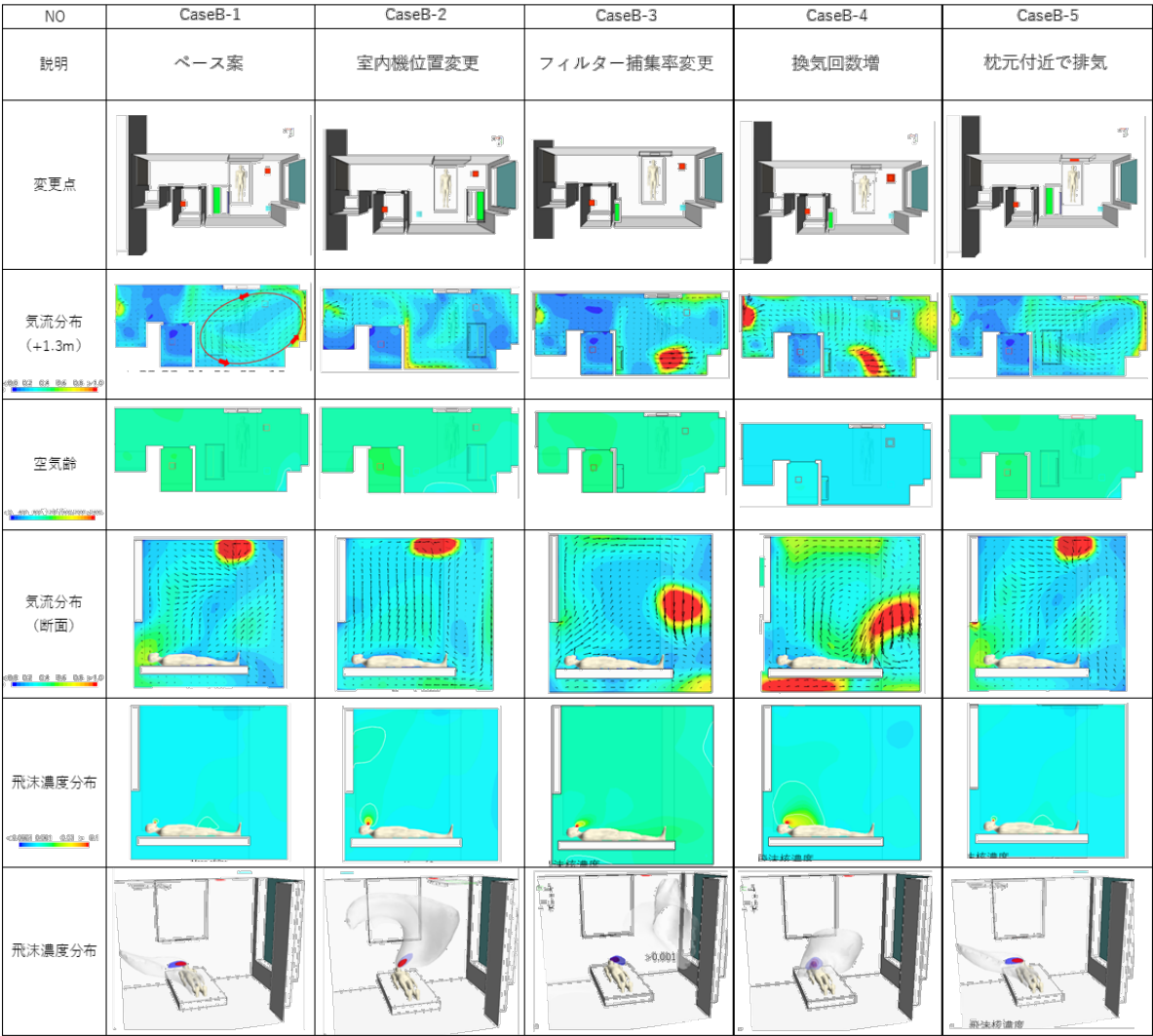


Fig.2.3.2 Analysis results of Infection hospital rooms

改善傾向が確認された結果（CaseA-1'）に計画を見直した。処置台での処置において、パーテーションの有無による影響を確認した結果（CaseA-5）、患者から医師への飛沫の影響が少ない患者枕元を待合室側とすることで運用してもらうよう建築主へ報告した。（Fig. 3.1）

感染病室（個室）は、ベース案（設計時計画）の気流シミュレーションにおいて、飛沫濃度が一様に低い結果（CaseB-1）となり、設計時計画の妥当性が確認できた。

4. まとめ

某総合病院の感染診察室・感染病室（個室）において、感染リスクという視点で気流性状・換気効率の確認のため、気流シミュレーションを行った。様々なケースでの検証結果を踏まえ、より効果的な計画に見直しを行った。ケースごとのシミュレーション結果は、感染対策という視点の考察を補足することで、様々な室条件の設計にも傾向を把握できる資料として活用できるものとした。今後は、気流シミュレーションの結果の確からしさを検証するため、建物完成後の実測調査を行う予定である。

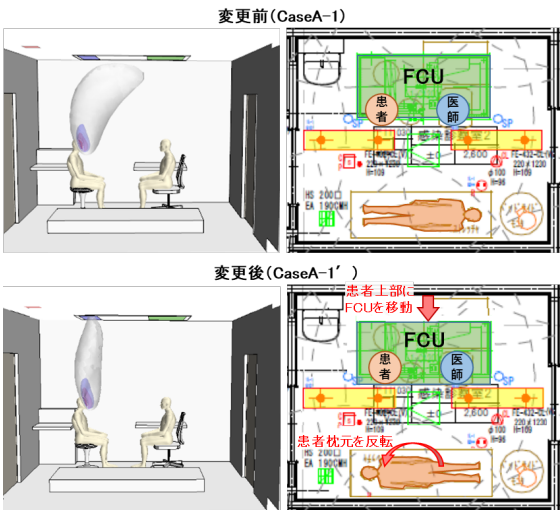


Fig.3.1 Review of infection examination room plan

参考文献

1) 日浅ら：「一般病棟におけるパンデミック時の感染リスクを低減する切替換気システムに関する検討(第1報) システム概要とCFD解析」 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, J-19, 2023

2) 張, 山中ら：「診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究（その1）」, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-16, 2021