OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Distribution of Temperature and Human-Originated Contaminant in Hospital Ward with Displacement Ventilation
Author(s)	Choi, Narae
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/81925
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名	（崔　　ナレ（CHOI　NARAE））
論文題名	Distribution of Temperature and Human-Originated Contaminant in Hospital Ward with Displacement Ventilation （置換換気を導入した病室内における温度及び人体由来汚染質の分布に関する研究）

論文内容の要旨

近年、世界的に進行する少子高齢化から、病院や高齢者施設の需要が高まっている。通常の居室に比べ、病室内環境の悪化は患者の心理状態、回復速度だけでなく医療スタッフの生産性にも影響を及ぼす恐れがあるため、快適かつ清浄な環境を提供することが非常に重要である。病室の空気環境の観点からは、患者の身体やおむつから発生する臭気が問題になっているが、様々な方法が提案されているにもかかわらず、まだ解決には至っていないのが現状である。本研究では、病室の臭気問題解決のために、効率的に汚染物質を排出することができる置換換気を病室に導入することを提案し、病室内の温度・汚染物濃度を調べ、その予測可能性についても検討した。

第1章では、本研究の背景となる病室の臭気問題について紹介した。また、置換換気の概念について説明し、置換換気室内の温度分布、汚染物濃度分布、病室における置換換気、外乱条件よる影響などに関する既往研究についてレビューを行った。第1章の最後には、本研究の目的について述べ、論文の構成について記述した。

第2章では、置換換気室内の温度・汚染物濃度分布の予測に用いる予測モデルについて述べた。室内温度分布の予測モデルについては、Mundtモデル、Nielsenモデル、対流・放射連成モデル、境界領域モデルについて紹介し、各モデルの計算方法と特徴について説明した。汚染物濃度分布の予測モデルとしては、境界領域モデルと拡張版境界領域モデルについて述べた。また、予測モデルの計算時に必要な上昇気流量の算出方法についても記述した。

第3章では、病室内の熱的快適性向上のために、熱環境の個別自由度を高める放射パネルを置換換気と併用することを提案し、放射パネルが置換換気を導入した1床病室内の温度・汚染物濃度分布に与える影響について調べた。放射パネルとベッド間の距離、パネル高さ、表面温度、給気量をパラメータに実験を行い、パネルとベッドの間に空間が存在する場合、汚染空気を含む人体からの上昇気流がパネルからの上昇気流と合流できず、室途中の高さで停滞してしまうことを明らかにした。パネルとベッドが接触している条件においては停滞が発生せず、パネルとベッド間の距離が大きくなるほど、停滞高さにおける汚染物濃度が高くなる傾向を確認した。また、放射パネル設置時の温度・汚染物濃度分布について、境界領域モデルによる予測可能性を検証した。

第4章では、1床病室と4床病室において、外部との温度差により窓や壁などの鉛直面に発生する上昇・下降気流が室内温度・汚染物濃度分布に与える影響について調べた。置換換気室では室内の上昇気流と下降気流量の合計が給気量と等しい高さに汚染物の境界面が形成されるため、鉛直面の上昇・下降気流の影響を調べることが重要であると予想された。壁面温度が高くなると、停滞が見られる箇所もあったが、上昇気流が与える影響は大きくないことが明らかになった。しかし、下降気流においては、室上部の汚染空気を誘引しながら室下部まで下降するため、壁面温度が低くなると室下部濃度が高くなり、混合換気の汚染物濃度性状に近づいてしまうことが判明した。下降気流の影響をより詳しく調べるため、壁面の熱損失と室下部の汚染物濃度の関係についても分析を行った。また、モデル計算時にも壁面上昇・下降気流を考慮することで、温度と汚染物濃度分布の予測が可能であることを証明した。

第5章では、1床病室及び4床病室内の間仕切りカーテンが室内の空気性状に与える影響について調べた。置換換気の給気は床面に沿って室内に広がるため、レイアウトやパーティションの影響を受けるとされているが、病室にはプライバシー保護のため間仕切りカーテンが設置されているため、カーテンの影響を調べることが不可欠であると言える。本章では、カーテン内の給気口の数とカーテン高さをパラメータとして実験を行い、給気口の位置がカーテン内へ供給される給気量に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。また、カーテンの下端高さが低い場合、カーテン内部に給気が供給されにくくなり、逆に下端高さが高すぎても給気がカーテン内部を通り抜けやすくなる可能性が見られたため、適切なカーテン高さの設定が重要であることが判明した。

第6章では、本論文で明らかになった結果をまとめ、今後の研究課題について述べた。本研究では、置換換気を導入した病室内の温度・汚染物濃度分布について実験により調べ、計算モデルにより予測可能性を調べたが、今後はCFDを用い、実験では調べることができなかったより多くの条件について検討する必要があると考えられる。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　崔　ナレ　）	
論文審査担当者	（職）　氏　名 主 査　教授　山中　俊夫 副 査　教授　下田　吉之 副 査　准教授　小林　知広

論文審査の結果の要旨

近年世界的に進行する少子高齢化に伴い、病院や高齢者施設の需要が高まっている。病室内環境は患者の心理状態や回復速度のみならず、医療スタッフの生産性にも影響を及ぼす恐れがあるため、清浄かつ快適な室内環境の維持は、病院運営にとって非常に重要な課題である。新型コロナウイルスにも代表される感染症をはじめとして、病室内の空気環境は、最も重要な環境要素の一つと言えるが、特に現在医療現場では患者の身体やおむつから発生する臭気が問題になっている。一般的には病室の換気回数を確保することが、臭気除去の対策とされるが、室内を混合し均一な汚染物濃度分布を基本とする混合換気方式では、完全な臭気の除去は原理的に不可能であり、気流を制御する高効率換気システムの導入が解決策として最も望ましいと言える。現在、人体から発生する汚染質の除去のための高効率換気の一手法として最も効果的とされるのが、置換換気である。本研究は、病室の臭気問題の解決のために、人体から発生する臭気に代表される汚染質を効率的に排出することができる置換換気を病室に導入することを提案し、置換換気される病室内の温度・汚染物の濃度分布について検討し、ゾーンモデルを用いた予測手法の確立を試みたものであり、病室の置換換気設計に大きく資するものである。設計パラメータとしては、給気量、放射パネル条件、壁面の冷却・加熱条件、ベッド周囲のカーテンと給気口位置関係などであり、それぞれの設計パラメータに関する検討結果が以下の各章にまとめられている。

第 1 章では、本研究の背景となる病室の臭気問題について紹介されている。また、置換換気の基本的概念が説明され、置換換気室内の鉛直温度分布、鉛直汚染物濃度分布、病室を対象とした置換換気の特徴、扉の開閉や人の動きなど様々な外乱条件よる影響に関する既往研究についてレビューが行われている。その上で、本研究の目的が述べられ、論文構成が記述されている。

第 2 章では、置換換気室内の鉛直温度・汚染物濃度分布の予測のための様々なモデルについて述べられている。既往研究における室内温度分布の予測モデルとしては、Mundt のモデル、Nielsen のモデル、Xu と Yamanaka による対流・放射連成モデル、Inagaki と Yamanaka による境界領域モデル等がレビューされ、各モデルの構成と計算方法、特徴について解説がなされている。一方、汚染物濃度分布の予測モデルとしては、Xu と Yamanaka による境界領域モデルと Suzuki と Yamanaka による拡張版境界領域モデルについてレビューされている。また、予測モデルの計算時に必要な人体からの上昇気流量の計算理論について記述されている。

第 3 章では、病室内の患者の熱的快適性のために、患者の状態と好みによって個別に制御が可能な鉛直放射パネルをベッドサイドに設置することで、置換換気による空気清浄性と熱快適性を両立する手法が提案され、独立型の鉛直放射パネルが設置され、置換換気が導入された 1 床病室内の温度・汚染物濃度分布が実大実験により検討されている。具体的には、放射パネルとベッド間の距離、パネルの床上高さ、パネル表面温度、給気量をパラメータとして実験が行われ、温度と汚染物濃度の鉛直分布や気流性状が詳細に検討されている。得られた興味深い結果としては、パネルとベッドが離れている場合には汚染質を含む人体からの上昇気流がパネルからの上昇気流と合流せず、室途中の高さで停滞してしまうこと、パネルとベッドが接触している条件においてはこの汚染質の停滞が発生せず、パネルとベッド間の距離が離れるほど、停滞高さにおける汚染物濃度が高くなる傾向のあることが挙げられる。さらに、放射パネル設置時の温度・汚染物濃度分布予測モデルに関する検討が行われ、境界領域モデルを用いた予測手法の妥当性が検証されている。

第 4 章では、病室として最も一般的な個室型の 1 床病室と 4 床病室を対象として、一面に外気に面する外壁や窓を有する場合に、季節に応じた室内と外気との温度差によって窓や壁などの鉛直面表面に発生する上昇・下降気流が室内の温度・汚染物濃度分布に与える影響が実大実験により検討されている。置換換気室内では室内の上昇気流と下降気流量の合計が給気量と等しくなる高さに汚染物の境界面が形成され、鉛直面に発生する上昇・下降気流量は室内温度・汚染物濃度の鉛直分布に大きな影響を与える要因と考えられ、置換換気の成立を左右する重要なパラメータと言える。実験の結果からは、壁面温度が高くなる場合には、部分的に人体発生汚染質の停滞が生じる箇所もあるものの、全体としては上昇気流が汚染物濃度分布に与える影響は大きくないことが明らかにされている。一方、冷却壁面により下降気流が生じる場合には、下降流が室上部の汚染空気を巻き込みながら室下部まで下降するため、室下部の汚染物濃度が上昇し、置換換気に特徴的な上下の汚染物濃度分布が均一に近づき、結果として混合換気の汚染物濃度分布の性状を示すことが明らかにされている。さらに、下降気流の影響を他の要因との関係から詳しく調べるため、壁面の熱損失と室下部の汚染物濃度の関係についても分析が行われ、設計上有用なチャートが得られている。予測の観点から、様々な予測モデルを用いた計算においても、壁面の上昇・下降気流を考慮すれば、温度と汚染物濃度の鉛直分布を精度良く予測できることが示されている。

第 5 章では、ベッド周囲に設置されるカーテンに着目し、1 床病室及び 4 床病室内を対象として、カーテンの配置及びカーテン下端の床上高さ及び給気口の配置が、室内の温度・汚染物濃度分布に与える影響について検討されている。一般的に、置換換気の給気は床面に沿って室内全体に広がるため、給気口のレイアウトやパーティションの影響が懸念されるが、病室にはプライバシー保護の観点からベッド周囲にカーテンが設置されているため、カーテンの存在は置換換気の性能評価上、無視することはできない。本章では、カーテン内外の給気口の数とカーテン下端の床上高さをパラメータとして実大実験が行われ、給気口がカーテン内に配置される場合、各カーテン内空間に供給される給気量が大きく影響を受けること、カーテンの下端高さが低い場合、カーテン内部に給気が供給されにくくなり、逆に下端高さが高すぎても給気がカーテン内部を通り抜けやすくなる可能性が見られたため、適切なカーテン高さの設定が重要であることなど、病室の置換換気設計上、重要な知見が得られている。

第 6 章では、本論文で明らかになった知見が総括され、残された今後の研究課題が述べられている。

以上のように、本論文は、病室の臭気問題の解決を目的として、室内で発生する臭気を代表とする人体由来の汚染質を効率的に排出することができる換気システムである置換換気を病室に導入することを提案し、そのために必要となる病室内の温度・汚染物濃度の形成メカニズムとその予測モデルの検討を行い、実用的な設計に資する様々な有用な知見が得られている。これらは病室の置換換気の設計に大きく資するものであり、学術的に大きな意義のある成果が得られているものと考えられる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。