



Title	Displacement Ventilation in Large Lecture Hall: Performance Assessment of an Actual Lecture Hall and Enhancement Using a Novel Portable Cooling Unit with Air Purification
Author(s)	Essa, Aya Mohamed Hisham
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92964
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (AYA MOHAMED HISHAM ESSA)	
Title	Displacement Ventilation in Large Lecture Hall: Performance Assessment of an Actual Lecture Hall and Enhancement Using a Novel Portable Cooling Unit with Air Purification (大空間講義室内における置換換気に関する研究：実在講義室の換気性能評価及び空気清浄機能を有するポータブル冷房ユニットによる性能向上)
Abstract of Thesis	
<p>Displacement Ventilation (DV) has been known as an energy saving system as it relies on buoyancy force to draw hot air upwards to be displaced by cool air. The main strength of DV that recommends it nowadays is that a well-designed DV system prevents mixing of contaminants as they are dragged along the hot air upward flow leaving the occupied zone, breathing zone in particular. However, the system's effectiveness is lowered in large rooms due to design problem such as difficult balance between sufficient supply flow volume and low inlet velocity, furniture arrangement acting as obstacles, or room geometry.</p> <p>Hence, the purpose of this study is firstly to assess the efficiency of displacement ventilation in minimizing infection spread in an actual large lecture hall, as a base-case, through field measurements and CFD simulations both steady-state and transient. Secondly, the study aims at investigating the effect of multiple factors on DV system performance, e.g. the effect of source position, occupants' seating pattern, and DV diffusers' setting. The third goal is to explore the enhancement techniques with portable cooling unit with air purification, that is, Portable Displacement Ventilation unit (PDV unit) and assess the efficiency and effectiveness on boosting the DV system performance.</p> <p>The study is composed of 5 chapters serving the three goals of this study.</p> <p>Chapter 1 presents background information about DV system, its properties, strengths, and weaknesses supported by literature and related previous studies' findings. In this chapter, the importance of the current study is highlighted.</p> <p>Chapter 2 focuses on a special DV system installed in a university lecture hall. The system performance is assessed in terms of temperature and contaminant distribution. Multiple variables are investigated exploratory CFD analyses, steady-state and transient, and field measurements including contaminant source position, seating pattern of occupants, and diffusers settings. In addition, CFD validation results are presented and analyzed. The main weaknesses of DV system in large spaces generally and in double wall diffuser system particularly were concluded.</p> <p>Chapter 3 introduces a novel portable DV unit. Details of the design, specifications, operation method are defined. The effectiveness of the proposed unit is evaluated using zonal model calculation, full-scale experiment, and CFD analysis in terms of temperature and particulate matter distribution in an environmental chamber. Several parameters are explored such as the unit's COP and flowrates, DV flowrate, and the position of exhaust relative to the PDV unit. The weaknesses, potential, and design recommendations of the unit were concluded.</p> <p>Chapter 4 presents the CFD application of operating the novel PDV unit in the investigated lecture hall as a representative of the unit's performance in enhancing DV system performance in large spaces. The PDV units were tested as an additional system booster and as a complementary or replacement ventilation system. Two main sets of analysis are found in this chapter. First one is operating the PDV units in the base-case as an additional system booster. The second is testing the effectiveness of the PDV units as a complementary or replacement ventilation system. As a result, this novel PDV unit have the enough capacity to improve the DV performance effectively even in a large lecture hall.</p> <p>Chapter 5 summarizes the main findings and reviews the previous chapters defining areas where further work is needed.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (AYA MOHAMED HISHAM ESSA)	
論文審査担当者	(職) 氏 名
主査	教授 山 中 俊夫
副査	教授 近 藤 明
副査	准教授 小 林 知 広

論文審査の結果の要旨

置換換気は、室下部からピストン流のように室温よりや低い温度の新鮮空気を低風速で供給するとともに、浮力を利用して人体発生汚染物などを含む温度の高い空気をブルームとして室上方に輸送したのち室内に排出する換気システムであり、在室者のいる居住域を外気同様の清浄な空気質に保つとともに、省エネルギー性にも優れた換気方式として知られている。また近年、新型コロナウイルスの感染拡大を受け、感染症の感染防止に効果の高い高効率な換気方式として、注目されている。

しかし、大空間講義室のような大きな部屋では、いかにして十分な新鮮外気を室内全域に均一にかつ低風速で供給するか、また、均一な給気の阻害要因となる家具などの障害物の配置及び部屋の形状と給気口の配置など、様々な設計上の問題を解決することが必要となるが、大空間での置換換気の設計手法はまだ確立されているとは言いがたく、検討すべき多くの課題を有しているのが現状と言える。

故に、本研究は、実在の大講義室において室内での感染拡大を抑えるための置換換気システムの性能評価を行うことで、大空間での置換換気システム設計における問題点を明らかにした上で、置換換気性能に影響を及ぼすと考えられる汚染質発生源（感染者）の位置、在室者の着席パターン、置換換気ディフューザの配置条件などの要因が換気性能に及ぼす影響について検討を行うことを目的として、実測と CFD 解析による検討を行っている。さらに、換気システムの性能を向上させる新しい技術として、空気清浄機能を有するポータブル冷房ユニットを提案することを目的として、同ユニットによる置換換気性能の向上効果について検証し、実験と CFD 解析により、その有効性を検証している。

この研究は、以下の 5 つの章で構成されている。

第 1 章では、置換換気システムの換気性能に関する既往研究に関する調査から得られた置換換気システムの基本特性と長所及び短所に関する最新の研究成果を整理した上で、本研究の目的、意義を明確にしている。

第 2 章では、実在する大学建物内の大空間講義室に設置された 3 方向のふかし壁（二重壁）を利用した置換換気システムに焦点を当て、室内的温度及び汚染質の濃度分布の実測を基に換気性能評価を行っている。検討されているパラメータとしては、汚染質発生源（感染者）の位置と人数、在籍者の着席パターンなどであり、その結果を基に、RANS を用いた CFD 解析により、同様のパラメータに加えて、給気ディフューザの配置や床面熱伝達率の影響、非定常状態における汚染質の拡散性状など、より多くの影響要因についての検討が行われている。なかでも、二重壁ディフューザシステムにおける設計上の留意点が明らかにされている。

第 3 章では、置換換気性能をより向上させる空気清浄機能を有するポータブル冷房ユニット（以下ユニット）の構成と原理について提案され、その性能がゾーンモデル、実大実験、RANS を用いた CFD 解析により明らかにされる。同ユニットは換気機能ではなく、HEPA フィルターによる室上部空間の汚染空気を清浄化かつ冷却して室下部に給気する機構を有するものであり、置換換気システムを有する実験用チャンバー内の温度と粒子状物質濃度分布が実験と CFD 解析により評価され、ユニットの入力（処理熱量）と循環風量、置換換気風量、ユニットに対する排気口の位置など、多くのパラメータが検討され、ユニットの特性および設計・配置上の留意点が明らかにされている。

第 4 章では、第 2 章で検討した大空間講義室における置換換気システムの換気性能を向上させるために、第 3 章で提案されたユニットの効果検証が CFD 解析により行われる。検討されている条件としては、現状の置換換気システム

に加えてユニットを設置・動作させる条件と置換換気システムの風量を減少させた上で補完システムとしてユニットを用いる条件であり、検討の結果、この新しいユニットは、大空間を有する講義室でも置換換気性能を効果的に向上させることができ、感染症に対する高い感染防止性能が実現できることを示している。

第5章では、本研究で得られた主要な研究成果をまとめるとともに、今後の研究についての展望が述べられている。

以上のように、本論文は大空間を有する講義室において感染防止効果の高い置換換気システムの導入のための設計上の要件を明らかにするとともに、置換換気性能を向上させる新しい空気清浄機能を有するポータブル冷房ユニットの開発と性能検証、利用手法の提案が行われており、今後の大空間講義室の換気システムの発展に大きく寄与するものと考える。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。