

| | | |
|-------------|---|--------------------------|
| | ジャック ジオン | |
| 氏 名 | Jacques NDIONE | |
| 授 与 学 位 | 博士 (工学) | |
| 学位授与年月日 | 平成19年9月12日 | |
| 学位授与の根拠法規 | 学位規則第4条第1項 | |
| 研究科, 専攻の名称 | 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻 | |
| 学位論文題目 | Integration of a Multizone Airflow and Pollutant Transport Program to Computational Fluid Dynamics for Building Environmental Analysis (環境解析のための多数室換気・汚染物質輸送モデルと CFD の連成に関する研究) | |
| 指 導 教 員 | 東北大学教授 吉野 博 | |
| 論 文 審 査 委 員 | 主査 東北大学教授 吉野 博 | 東北大学教授 三橋 博三 |
| | 東北大学教授 持田 灯 | 教授 内海 康雄 (宮城工業高等専門学校) |

論 文 内 容 要 旨

This thesis is concerned with developing improved and more practical methods for modeling indoor environment, which includes emission, transport and dispersion of indoor pollutants. The approach taken was to incorporate a CFD model within a multizone model and to add the necessary functionality to the combined program.

Chapter 1. Background of the research work is summarized; objectives and structure of the thesis highlighted.

Chapter 2 is concerned with the outline of the multizone airflow model COMIS. Multizone airflow models idealize a building as a network of discrete flow elements such as doors, cracks, and ductwork. The flow elements connect at nodes, which represent either static zones such as rooms, or points where two elements meet, such as duct junctions. The governing equations represent: (1) pressure-flow relations in the flow elements, (2) mass conservation at the nodes, and (3) hydrostatic pressure variations in the zones.

A formulation of the problem makes the node reference pressures the independent variables, calculating the hydrostatic effects and flows accordingly. The program solves the airflow network

by adjusting the reference pressures in order to achieve mass balance. Typically they use variations on the well-known Newton–Raphson algorithm, adjusting the reference pressures simultaneously based on affine (linearized) models of the airflow network. However, the presence of a large space, for example an atrium, convention hall, theater, or auditorium, significantly challenges a multizone model of a building due to the many assumption made in these model. Multizone models do not predict the airflow patterns in a room. Therefore they do not capture interior effects due to thermal plumes, jets from ventilation ducts, partitions, and so forth. These effects can significantly change the mixing of pollutant within a large space, and the transport of pollutant out of the space. Thus, the multizone assumption of instantaneous perfect mixing can lead to:

- over-prediction and under-prediction of the exposure of occupants in a large space;
- over-prediction of the speed at which pollutants propagate from the large space to other rooms; and
- over-prediction and under-prediction of the amount of pollutant that enter adjoining rooms

Chapters 3 and 4. The fundamentals of CFD and its solution method are reviewed. In order to reduce the computational burden of CFD, a simplified CFD model that uses fewer equations is evaluated through validation with experimental data available in the literature. Also a comparison of the simplified CFD model with a non-simplified one is made.

Many types of building design and analysis would benefit from a more detailed understanding of building airflow patterns, contaminant dispersal, and thermal stratification. Computational Fluid Dynamics (CFD) models provide this type of information and have been available for many years; however, their application has historically been limited by their need for extensive computational resources.

Chapter 5. Coupling strategies that overcome the limitations of CFD and multizone models are studied. A universal coupling method which can model both small openings and large ones is developed. Previous works was limited to modeling one-way flow through opening with small area. The outlined method shows its ability to model large openings with bidirectional flow. In addition,

validation of the coupled program by experiment is done, which has not been done by previous works. Results show that the coupled program is faster than CFD alone, but slower than the multizone model. However its accuracy of prediction is comparable to that of CFD while requiring fewer boundary conditions than it.

This sort of integrated simulation approach would offer the building design community an enhanced ability to predict and model the performance of complicated spaces, and to simulate events more realistically. As computing time and resources become faster and less costly, simulation of building or systems behavior in response to an event such as a fire or a contaminant release also becomes possible.

The coupled CFD-COMIS simulation tool allows modeling a large, complex multizone building that contains one or more large indoor spaces. The resulting integrated simulation tool substantially improves the fidelity of predictions compared to a pure multizone approach, without imposing an unacceptable computational burden as would a pure CFD approach.

Chapter 6. Summary of the work presented in this thesis is given; recommendations for future research are listed.

The resulting program combines the ability to predict variations within rooms with the general whole-building modeling of a multizone program. It is computationally efficient, simpler and faster to use than a CFD-model while requiring fewer boundary conditions, and, in appropriate cases, gives more accurate results than multizone models. As the transport and dispersion of indoor pollutants is critically dependant on air flows, the ability to predict flow patterns within individual rooms has been shown to be of key importance. Validation of the combined approach has been done through experiment within a three-zone chamber. An extensive evaluation of the program was undertaken to demonstrate its capabilities to model air flows, temperatures and pollutant emission rates and dispersion within rooms and to show how the ability to predict variations within rooms can greatly enhance whole building simulation.

論文審査結果の要旨

本論文は、複数の部屋で構成される建物内の空気流動と汚染拡散を計算で予測する場合に、多数室換気計算プログラムとして開発された既存プログラム (COMIS) と計算流体力学 CFD に基づく室内気流計算プログラムを連成させることによって、計算負荷を減らしながら特定の部屋に対しては詳細な情報を得ることができるというプログラムの開発を目的としたものである。

第1章は研究の背景、目的、論文の構成を述べている。

第2章では、多数室換気計算プログラム (COMIS) の概要と解析の方法に関して述べており、二室のモデルを対象として、この方法に基づいて計算した汚染濃度の結果は、CFD による計算結果に比べて過大に評価される場合や過小に評価される場合があることを示し、その限界について議論している。このような検証結果は多数室換気計算プログラムで計算した結果を評価する上で貴重な資料を与えている。

第3章と4章では、CFD による計算法の基礎事項とその解法について述べている。CFD 計算の負荷を節約するために、構成する式の数を減らした数学モデルを用いた場合の結果を既往の実験結果と比較して議論し、床付近では差が大きくなっていることを示している。また、簡略化しない計算モデル ($k-\epsilon$ モデル) の結果とも比較し、精度について議論している。

第5章では、まず、それぞれの計算方法の短所を補うために、二つの計算プログラムの連成の方法に関して検討している。その際、多数室換気計算プログラムで解析する室と CFD に基づく計算プログラムで解析する室の境界にある開口に対して、面積が小さなものから大きなものまで適用できる汎用性の高い連成の手法を考案している。これまでの研究では、流れが一方のものに限られていたが、今回の手法では開口部において2方向の流れがある場合にも適用することが可能でありこの点は高く評価できる。

次に、プログラム検証のために3室からなる実験室を用いた汚染の拡散実験を実施し、連成したプログラムは、CFD を用いてすべての空間を解析する場合に比較し計算時間が短いこと、多数室換気計算法では求められない汚染の分布も計算することが可能で、実験結果との対応が良好であることを明らかにした。実験室実験と比較して検証した研究は初めてであり、実際の建築物の適用についても道が開かれた点で貴重な成果といえる。

以上より本論文は、多数室換気計算プログラムとして開発された既存プログラム (COMIS) と計算流体力学 CFD に基づく室内気流計算プログラムとを連成させることによって、計算負荷を減らしながら特定の部屋に対しては詳細な情報を得ることができるということを多面的に検証した上で、実用的なプログラムを開発しており、建築環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として合格と認める。