

論文の内容の要旨

論文題目 室内環境の分布性状を反映する建物のエネルギー
と空気質の期間シミュレーションに関する研究

氏 名 王 立

本論文は、社会的に急務の課題である「高品質の室内環境を省エネルギーに実現する建物設計」に対して、「室内環境の分布性状を反映する建物のエネルギーと空気質の期間シミュレーションに関する研究」をテーマとする。

エネルギー効率の高い建物は、高効率熱源システムや熱抵抗が大きい外皮建材よりも、高い気密性を確保しようとする。そうした建物は必要な換気量を最適な方法で実現するシステムを備える。そのようなエネルギー使用量の最適化は、室内空気質を同時に最適化するとは限らない。必要換気量は室内の滞在者（居住者）の数または二酸化炭素濃度に応じて制御するものであり、建材などからの汚染物質ガスの発生量に対応するものではない。快適な温熱環境の実現は、必ずしも快適な空気質を保証するものではなく、両者に相関性があるわけでもない。特に空調の省エネルギー性が追及される場合には、両者にはトレードオフの関係すらも認められる。過去には空調負荷削減のため外気処理風量を削減することで空気質の低下を招いた事例もあった。また、空調調和制御等の空調方式を考慮し、空調される室内環境とシステムエネルギーの予測は、建物内の熱や物質の輸送などを 1 次元に近似したネットワークモデルにより期間的に解析することが一般的であった。しかし、こうした手法では室内の空間分布が考慮されない。一方、室内を空間格子で三次元に分割し、気流場、温度場、濃度場等の室内分布に CFD 解析を用いている。しかし、計算コストが高く、代表的な負荷条件による数ケースの解析に限られる場合が多く、実務における外乱の考慮や空調制御などによる負荷変動を伴う期間算出の実施は困難だと考えられる。従来、この課題に対して、期間計算が容易であるネットワークモデルと CFD モデルを連成する手法が利用されてきた。しかし、既存している Full-coupling simulation の方法が計算コスト上の制限により、まだ実務利用されていない。実用的な計算コストを達成する準定常の非定常計算という CRI-ネットワークモデルの Quasi Coupling Simulation が提案されたが、今までそれを利用して計算し

た対象は温度、建材の吸脱着効果がある湿気、温冷感に限られ、統合されていない。

室内では、外部からのあるいは室内で生じる空調熱負荷、汚染物質負荷の変動に加えて、空調機器の発停制御や容量制御により、室内の温熱環境や空気質は、空間的にも時間的にも大きく変動する。低炭素の建物全体でのエネルギー使用、温熱快適性、空気質の全体像を評価するために、実務な分析手法の更なる発展が求められており、最大限の省エネルギーと温熱快適性を実現しつつ、同時に良好な空気質を実現するための空調方式を検討する必要がある。そこで本論文では、室内で複雑な三次元の熱や物質輸送に起因した三次元的な温度や濃度分布を考慮し、準定常の非定常計算である CRI-ネットワークモデルの *Quasi Coupling Simulation* の方法を活用することで、実務レベルに耐えられる軽い計算負荷により利用可能な建物に関する室内環境の分布性状を反映する建物のエネルギーと空気質の期間シミュレーション手法を提案することを目的とする。

本論文は、全7章で構成される。

第1章では、本研究の研究背景、研究目的および論文の構成を述べる。

第2章では、建築環境工学におけるエネルギーシミュレーションについてレビューする。現在主に用いられるビルディングシミュレーションについてのネットワークモデルと CFD 解析の原理、計算方法をそれぞれ概説する。また、室内温熱環境形成寄与率 CRI に関する基礎理論や CRI 概念を支える仮定を説明した上で、温度、汚染質の CRI および放射分配係数を含めたさまざまな CRI の定義と計算方法をまとめて概説。そして、CFD とネットワークモデルを連成させるカップリングに関する既往研究、特に CRI とネットワークモデルとの連成手法についての既往研究をまとめる。

第3章では、温熱環境、空気質に影響を与える要素を概説する。その上、温熱環境を評価する指標についての既往研究をレビューし、応用範囲が広い予想平均申告である PMV の計算方法を概説する。次に、揮発性有機化合物による室内空気汚染の問題を紹介した上で、建材の吸着効果を考慮する揮発性有機化合物による室濃度の計算方法を述べる。そして、室内臭いによる空気汚染問題についての既往研究をレビューし、臭い発生強度の単位である olf で、臭い濃度の評価指標である decipol による在室者の不快感率の計算方法を述べる。

第4章では、室内環境の分布性状を反映する建物のエネルギーと空気質の期間シミュレーション手法（全体像シミュレーション手法）の開発を説明する。まず全体像シミュレーション手法のフレームワークを建てる。そして、そのフレームワークの上で、温熱

環境と空気質の分布性状を反映する建物のエネルギーの全体像シミュレーションに展開し、最終の全体像シミュレーション手法を達成する。

第5章では、液冷空調システムを構成した空調機器のモデル化の流れを説明する。まずは、液冷空調システムの特徴を紹介する。そして、実験や技術資料により、液冷空調システムにおけるそれぞれの空調機器の性能及びそれに対応する発停制御や容量制御のモデル化の流れを説明する。

第6章では、全体像シミュレーション手法の有用性を明らかにすることを目的とし、液冷空調システムを採用する一室のオフィスを想定することで、ケーススタディの実例を挙げる。はじめに、異なる必要換気量の下、違うセンサー位置と発停制御幅による解析ケースの設定を説明する。そして、全冷房期間における在室者全員のPMVの分布性状、在室者の座席周辺でのVOC濃度と臭いによる不快感率の分布性状を観察し、異なる発停制御と容量制御の下の期間エネルギー投入量を検討する。これにより、液冷空調システムを採用するオフィスにおいて、健康で快適且つエネルギー効率の高い空調方式を考察し、本提案手法の有効性を確認する。

第7章では、全体のまとめを行い、本研究の成果を総括し、今後の展望を示す。