

積雪寒冷地域におけるアトリウムの温湿度環境 の実態とその測定・解析手法に関する研究

学位論文内容の要旨

積雪寒冷地域のアトリウムには主建物の機能を補完する複合施設の一部として、外の厳しい気候からある程度被覆されたモールとしての役割や、この地域の冬には得ることの難しかった光、水、緑に溢れ、一年を通してアクティビティのある公共空間としての役割が、求められている。そのためには冷涼な気候を利用した夏期の環境調整や日射を利用した冬期の温度保証が温湿度の環境計画の基本となる。最近、積雪寒冷地域においてもアトリウムの建設数は多くなってきたが、気候に対処したアトリウムの建築計画、建築環境設計、管理・運営はいまだに手探りであり、設備とエネルギーによる力任せの解決を図った事例も多い。アトリウムは外壁面に占めるガラス面積の割合が多く、外の気候の影響が侵入し易い空間である。また大空間でもあるため、建設する地域の気候に合わせた建築計画、建築環境設計、管理・運営が適切に行われない場合には、無駄にエネルギーを浪費するだけの附属建物になってしまう可能性もある。地球環境時代という流れの中で、アトリウムの計画や管理・運営のあり方にも転換が求められている。

本論文では、積雪寒冷地域のアトリウムの実態把握を通して、アトリウムの計画と運営に、環境測定と環境シミュレーションを効果的に組み込むことでその転換を図ることを提案している。その上で、この目的に沿って、現状の環境測定と環境シミュレーションの方法を開発、改良した。本論文は7章からなっている。以下に各章のまとめを示す。

1 章では、本論文の目的である、環境測定（特性計測）と環境シミュレーションによってアトリウムの計画や管理・運営を見直す必要性について概説し、それぞれに関係する既往の研究を整理すると共に、本論文の位置付けを明らかにした。

2 章では、本論文の背景として、積雪寒冷地域におけるアトリウムの存在意義を示すと共に、現状のアトリウムの遮蔽度を主な指標として分類し、それぞれのタイプ毎に生じている温湿度環境や管理・運営上の問題について概説した。

温湿度環境の管理・運営上の問題は、計画者、設備技術者と管理者の間のコミュニケーションのギャップや、建物や空調システムの限界から生じていることが多く、簡易で空調に頼らない環境調整手法を駆使する必要があり、そのための環境シミュレーションと環境測定の必要性を示した。

3 章では、アトリウムの環境測定に必要な現場測定の工夫や、特性測定に必要な情報量を得るための工夫と手法を示した。まず温度環境の測定法では、アトリウムの温度分布の測定時に必要な簡易さと、仮設に伴う危険性の問題を提示し、それを保証するために行ったセンサーの設置方法の工夫を示し、アトリウムの環境測定に有用であることを明らかにした。

湿度環境の測定法では、アトリウムに付設される水面や植栽などの空間演出装置の湿度分布への影響を測定するために、温湿度センサーの精度と設置法を検討した。また、それらの空間演出装置の局所的な影響を測るための測定装置を開発し、それらがアトリウムの環境測定に有用であることを明らかにした。

気流動の測定法では、これまで測定の難しかった空間全体の気流動を簡易に、また定量的に把握可能な手法とし

て自由浮遊バグを利用した気流分布の測定法の概要を示し、実験室実験によって自由浮遊バグが示す気流速はバグスケールの空間平均値を表していることを明らかにした。また風洞実験を行い、安定した流れ場の中ではバグの速度が気流速の参考値として十分な精度を持っていることを確認した。

4章では、積雪寒冷地域に建つ4タイプのアトリウムの環境測定結果を紹介し、現状のアトリウムの温湿度環境とその変動要因、自然換気を利用した温湿度環境の改善の可能性、管理・運営上の問題点について把握、検討を行った。その結果、中規模空間では、温度変動の主要因が日射量になり、大規模空間は低層居住域が内外温度差の影響を受けることを示した。

夏期の外気温が空間内温度よりも低い積雪寒冷地域では、自然換気による頂部温気の排出や外気冷房が有効な環境改善手法であることを明らかにした。

アトリウムの温湿度環境上の管理・運営問題では、計画時の予測だけでは管理・運営の指針や方策を見出すことに限界がある事を示した。

5章では、4章の結果を踏まえ、アトリウムの温湿度環境のシミュレーションとその境界条件を整理し、シミュレーションの種類により境界条件の選択が必要になることを示した。その上で、アトリウムに特徴的な環境の境界条件として、空間内の温度変動の主要因である日射と、アトリウム内によく持ちこまれる空間演出装置である流水面の凝縮、蒸発現象を取り上げ、それぞれについて検討を加えた。

日射の取り扱いでは、モンテカルロ法を利用して、壁面への短波長の入射量を解析するシミュレーション方法を提示し、解析手法の有用性を明らかにした。遮光の方式と布の種類をパラメーターにして、アトリウム内壁面の照度分布、入射日射量の分布を求め、光環境の調整効果と温度環境の改善効果を検討した。

流水面の取り扱いでは、小型模型を用い、流水面温度を周囲空気の露点温度以下に設定した並行流条件の下で、流水面の凝縮水量を計測する実験を行い、凝縮量を風速、水蒸気圧差、相対湿度差との関係で整理した実験式を導出した。また熱伝達率と物質伝達率のルイス関係から実験の精度を確認し、実験結果よりマクロなシミュレーションが可能であることを示した。

6章では、CFDによってアトリウム内の温湿度・気流・輻射の連成シミュレーションを行うために、水蒸気の輸送方程式を作成し、濃度差による影響を浮力(含湿浮力)として運動方程式に組み込むスキームを示し、二次元のアトリウムのシミュレーションをk- ϵ 二方程式乱流モデルによって行った。その結果、アトリウムタイプが温熱環境にも大きな影響を与えることをシミュレーションからも確認し、また自然換気をアトリウムに導入することによってこの計算条件の元では5℃以上の温度降下が得られることを確認にした。

湿度環境では、凝縮時の絶対湿度の等値線が水面付近で上下方向に密に積層し、蒸発時の等値線は縦ラインになることを示し、また水面の水温コントロールが、空間内の湿度分布にも影響を与えることを明らかにした。また、水面で蒸発や凝縮をコントロールするには流れ場のコントロールが必要であり、事前の数値シミュレーションが必要であることを示した。

7章は総括であり、本論文で得られた結果を述べるとともに今後の課題を取り上げた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 絵 内 正 道

副 査 教 授 落 藤 澄

副 査 教 授 持 田 徹

学 位 論 文 題 名

積雪寒冷地域におけるアトリウムの温湿度環境 の実態とその測定・解析手法に関する研究

積雪寒冷地域では、冬期間、住民のアクティビティを高めるために、光や緑に溢れたアトリウムが求められている。その環境計画の基本は、積雪寒冷地域の場合、冷涼な気候を利用した夏期の環境調整や日射を利用した冬期の温湿度環境の保証にある。しかし、アトリウム（熱的に弱い硝子外壁面積の割合が大きい大規模吹き抜け空間）は、事前の建築計画、建築環境設計や竣工後の管理・運転の面で、未だ手探りの状態にあると言わねばならない。地球環境時代という文脈の中で、アトリウム空間もまた大掛かりな機械設備や多量のエネルギー消費に支えられた力任せの解決を避け、サステイナブルな環境計画や管理・運転システムの確立が求められている。

本論文では、積雪寒冷地域のアトリウムの実態把握をベースに、環境測定と環境シミュレーションをアトリウムの事前の環境計画や竣工後の管理・運転に効果的に組み込むことによって、力任せの解決からの転換が容易になることを提唱している。その目的に沿って、実態把握及び環境測定と環境シミュレーションの方法を開発・改良した成果は、次のように要約できる。

① 温湿度環境の管理・運営上の問題は、計画者や設備技術者と管理者の間の意思伝達のギャップ、建物や空調システムの限界から生じていることを明らかにし、積雪寒冷地ではそのギャップや限界を埋めるものとして、出来るだけ空調に頼らない簡易な環境調整手法が求められていることを示した。

② 温度環境の測定法では、大規模吹き抜け空間を測定する際に避けなければならない危険な諸問題を提示し、気象観測用気球に係留したセンサーの設置方法の改良工夫とその有用性を明らかにした。湿度環境の測定法では、付設水面や植栽などが加わった湿度分布への局所的な影響を測る測定装置を開発し、その有用性を明らかにした。気流動の測定法では、自由浮遊バグと魚眼レンズ装着デジタルビデオカメラを利用し、大規模吹き抜け空間全体の気流分布や気流動を定量的に把握可能にするビジュアルな測定法を確立し、安定した流れ場の中で、バグ速度の簡易推定値が十分な精度を持っていることを明らかにした。

③ 典型的な2種2事例(4件)の詳細な環境測定結果を踏まえ、パッシブな温湿度環境改善の可能性、管理・運転上の問題点などの把握や検討を行い、夏期に冷涼な積雪寒冷地域では、自然換気による頂部温気の排出や外気冷房が有効な環境改

善手法であることを明らかにした。

④アトリウム空間演出装置である流水面の凝縮・蒸発現象を取り上げ、その実験式を導出すると共に、空間内の温度変動の主要因である日射の遮光効果を検討するためにモンテカルロ法を援用して、壁面への入射量を求め、その解析法の有用性及び遮光布の光・熱環境調整効果を明らかにした。

⑤アトリウム空間内の温湿度・気流・輻射の連成数値解析のために、従前の $k-\epsilon$ 二方程式乱流モデルに水蒸気の輸送方程式を加え、運動方程式に含湿浮力を組み込むことで、独自の連成スキームを提示した。その数値解析結果からアトリウムの型が与える温熱環境への影響、自然換気による湿度環境の改善効果、開放水面からの蒸発・凝縮を調整するための水面温度の影響を明らかにし、数値シミュレーションがアトリウムの事前の環境計画時に必須のツールであることを示した。

これを要するに、著者は、積雪寒冷型アトリウムの建築機会の増大を背景にして、その建築計画や環境設計と共に竣工後の管理・運転システムを確立するための環境測定や環境シミュレーションの方法を開発、改良するに必要な新知見を得たものであり、建築環境学及び建築設備工学の進展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。