

## (論文内容の要旨)

論文は快適性の維持・向上とエネルギーの削減をもたらす建築の蓄熱効果を考慮した空調システムの設計法に関する研究を取りまとめたもので、以下の8章から構成される。

第1章は序章として本研究の背景と目的を述べている。建築の蓄熱が空調エネルギーや室内環境に大きな影響を及ぼすため、建築部材の蓄熱効果を利用する空調システムは省エネルギーや負荷平準化に貢献することを述べている。これらの空調システムの中で適用件数が多い「躯体蓄熱システム」と「自然換気システム」に関して既存研究のレビューを行い、躯体蓄熱システムでは空調機能力の決定方法や温熱環境を含めた設計手法が明らかではないこと、自然換気システムでは制御パラメータによる負荷削減効果の予測手法が十分に整備されていないことを示している。以上の背景から、建築の蓄熱効果を考慮した空調システムでは温熱環境と空調負荷の増減と共に、システム採用のインセンティブとなるライフサイクルコストを考慮に入れた設計法の研究が必要であることを述べている。

第2章では本論文で用いるシミュレーション手法を述べている。最初の実態調査に基づき、躯体蓄熱を用いる建物における室温や各種部位の温度分布の特徴を整理して、本論文に用いるシミュレーション手法である「ブロックモデル」の必要性和概要を述べている。当該手法の妥当性を示すため、躯体蓄熱時に空調機処理熱量の約50%を蓄えるスラブの温度の測定結果とシミュレーション結果の比較を行い、躯体蓄熱時に空気を吹き付けるスラブ下面の対流熱伝達率を $9.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ とした時にスラブ温度平均値は実測値と計算値が $0.5^\circ\text{C}$ の違いで一致すると述べている。これにより当該手法を用いて躯体蓄熱システムの能力や運転方式の違いによる空調機処理熱量と室内環境の比較が可能であることを示している。

第3章では躯体蓄熱冷房利用時の室内の高湿化とその対策方法を示している。まず、実測により躯体蓄熱を行うと室内が高湿となる傾向にあることを確認している。その上で、内装材や家具・什器が湿度に与える影響が小さい場合に躯体蓄熱を行うと、蓄熱時の蓄冷効果により減少する室空調時の顕熱負荷に対処するために空調機の吹出空気温度が上昇し、給気が十分に除湿されないため室内が高湿になることをシミュレーションにより分析している。結論として躯体蓄熱による高湿化を防ぐには空調設備で取り入れる外気を確実に除湿すればよいことを述べている。

第4章では躯体蓄熱暖房利用時の空調機能力決定方法を示している。まず寒冷地の事務所建物で実態を調査し、躯体蓄熱における機器能力設計法が現在無いため躯体蓄熱時の空調電力量が昼間の室空調時よりも大きくなっていることを見い出している。次に週末(土日)の冷却現象を反映した一週間を周期としたシミュレーションを行い、必要最小となる空調機能力を求める具体的な方法として、室空調時に最大処理熱量が発生する時刻の室温が設定値を下回らないように非蓄熱時を初期値として空調機能力を徐々に小さくしていき、躯体蓄熱

時と室空調時の処理熱量が一致する解を見いだせば必要最小となる空調機能力が求められることを示している。また、必要最小となる空調機能力を選定すれば与条件（外界条件、内部発熱、蓄熱スケジュール、室空調スケジュール）の下で躯体蓄熱による空調エネルギーの増加を最小にすることができることも示している。

第5章では躯体蓄熱暖房利用時の設計法を提案している。実測結果から躯体蓄熱暖房利用の特徴として温熱環境に影響を及ぼす室内の上下温度差が小さくなることを述べている。次に、シミュレーションを用いて、①時刻別処理熱量の最大値の削減率、②夜間処理熱量が空調機処理熱量全体に占める比率と③躯体蓄熱による処理熱量積算値の増加率の違いを比較し、躯体蓄熱によりISO 7730の基準を超える上下温度差が生じなくなることを示している。また、建物の断熱性能は上記3つの蓄熱特性にほとんど違いをもたらさないことも述べている。最後に第4章で示した方法を用いて、温熱環境、初期コスト、ランニングコストの3つの判断基準を用いて、空調機能力とそれに対応する躯体蓄熱運転方法を決定する躯体蓄熱暖房利用時の設計法を提案している。

第6章では寒冷地の躯体蓄熱暖房利用における冬季長期休暇後の運転方法を述べている。建物の実測結果から、冬季長期休暇後に外壁に近い領域のスラブ温度が6.6℃まで低下して休暇後の始業日午前中に時刻別空調電力量が増加していたことを示している。適切な躯体蓄熱時間の判断基準としてISO7730 Category Bを用いて室空調時の上下温度分布が3℃以内となる躯体蓄熱時間をシミュレーションで検討し、冬季長期休暇後の始業日における躯体蓄熱時間が9時間となることと、蓄熱時間の延長による一月の処理熱量積算値の増加はわずか1%であることを述べている。これにより、冬季長期休暇後の躯体蓄熱時間はISO7730の基準を用いて判断すればよく、その際の処理熱量の増加も僅かであることを示している。

第7章では設計時の蓄熱要素の取扱いが不十分であった自然換気併用空調システムにおける空調負荷の予測手法を述べている。換気回路網を組み込んだ熱環境シミュレーションによる事務室スラブ温度の計算結果を実測値と比較して再現性を確認し、その上で自然換気併用空調を行うと通常空調システムよりも冷房処理熱量が年間で21%減少すること、また自然換気制御条件の外気温度下限値を15℃から12℃に下げると冷房処理熱量は24%減少するが、自然換気により室が過剰に冷却されるため暖房処理熱量が増加することを述べている。一方、外気温度下限値が15℃の場合と12℃の場合では室内温熱環境は変わらないため外気温度下限値15℃がより適していると述べている。これらの結果から本文で提示するシミュレーション手法により温熱環境上問題の少ない制御方式を用いた自然換気併用空調において、冷房処理熱量の削減効果と共に暖房処理熱量の増加が予測可能となり、ランニングコストの予測が精度よくできると結論づけている。

第8章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。

## (論文審査の結果の要旨)

建物の蓄熱は、空調の予熱・予冷時の熱負荷を増大させ室内環境の快適性を低下させる反面、それを空調システムに利用すれば熱負荷の夜間移行やピーク負荷の削減が可能となる。本論文は、建築部材の蓄熱効果を利用して室内の快適性を維持しつつも熱負荷が削減できる、躯体蓄熱式空調システム及び自然換気併用空調システムの設計法に関する研究を取りまとめたものである。以下に得られた成果の概要を示す。

1. 躯体蓄熱を冷房に用いている建物の実態調査を通じて躯体蓄熱システムの特徴を整理し、その設計法の検討に不可欠となるシミュレーション手法の開発を行い、スラブ温度の変化からその工学的妥当性を検証した。
2. 躯体蓄熱を冷房に利用する際に室内湿度が高くなるという傾向が見られることを実態調査により示し、シミュレーションによってその原因が躯体蓄熱時の室内への蓄冷がもたらす室空調時の吹出空気温度の上昇により給気が十分に除湿されないことである点を明らかにした。
3. 躯体蓄熱暖房利用時の運転時間と室空調時に生じる処理熱量の関係をシミュレーションにより分析し、室内温度を設定値に保ちつつ躯体蓄熱時と室空調時の最大処理熱量を等しくなるように設計するという、今までの設計法では示されていない空調機能力の決定方法を見出した。
4. 上記の方法により、本方式の温熱環境上の特徴である室の上下温度差の縮小と、初期コスト及びランニングコストの増減により空調機能力と躯体蓄熱運転方式の組み合わせを決定する躯体蓄熱暖房利用時の設計法を提示した。
5. 寒冷地の躯体蓄熱暖房利用では、冬季の長期休暇後に室温が大きく低下する。これを解決するために躯体蓄熱時間をどの程度延長すれば良いかについて分析してその判断基準を示した。また、こうした時間延長がエネルギー消費に与える影響は月積算値の1%程度と些少であることをシミュレーションにより明らかにして運用方法の指針を示した。
6. 超高層ビルの自然換気併用空調システムの制御方式と建物の蓄熱効果の関係を分析して実測結果との比較により換気回路網を組み込んだ熱環境シミュレーションの精度を検証した。また、そのシミュレーション手法により、冷房負荷の削減効果のみではなく過冷却による暖房負荷の増加も考慮した自然換気併用空調システムの省エネルギー効果の推定を可能にした。

以上、本論文では、建築の蓄熱効果を利用した空調システムの課題を実態調査により抽出して、機器能力と運用方法の組み合わせに基づく設計方法を示しており、当該システムの室内温熱環境の向上と省エネルギーのための空調負荷削減手法に対して、学術上、実際上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）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年12月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。