

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要書

論 文 題 目

Effectiveness of Hybrid Air Conditioning
System in a Residential House

住宅におけるハイブリッド空調システムの
有効性に関する評価研究

申請者

許 雷

Xu Lei

建設工学専攻・都市環境

2002年12月



日本の家庭部門でのエネルギー消費量は最終エネルギー消費の 1/4 を超え、ライフスタイルの変化等により、生活の利便性、快適性、豊かさを追求するため、エネルギー消費量は増加している。IT 情報化により在室ワーク (SOHO) 機能具備が進むため、住宅におけるエネルギー消費量、特に冷暖房のエネルギー消費量は伸び続けると予測される。一方で、居住者の健康志向が高まり、室内空気質に対する要求も高くなる。建築設備の空調システムは省エネルギーと高度な室内環境を実現するために、更なる高性能化・高機能化が図られ、複雑なシステムが多くなっている。しかし、実際の建物は、自動制御の未調整や設定値の不具合によって多くの無駄なエネルギーが消費されていることが多い。京都議定書の目標達成は決して容易ではない。

本研究は、住宅における空調システムの省エネルギー性と室内の快適性を実現することを目指し、ハイブリッド空調システムを提案する。具体的には、パッシブ手法に関する研究として、日本の民家の縁側空間をダブルスキンとして活用した自然エネルギーの利用効果に関する研究、また、アクティブ空調手法に関する研究として、居住域のみを空調する温度成層型空調システムの快適性と省エネルギーに関する研究、さらに、空調熱源として、氷蓄熱空調システムの導入に関する研究を行っている。研究手法としては、シミュレーションと実測を行い、住宅におけるハイブリッド空調システムの有効性に関して実証する。

第 1 章は『従来研究及び本研究の位置づけ』と題して、ライフスタイルの変化によりエネルギー負荷が増加することから本研究に至った背景を調査した。まず、建物における空調設備の省エネルギー手法に関する取り組みの現状を記し、特に住宅に関する省エネルギー手法の特性を詳述した。建築外皮の改善により、パッシブ空調とアクティブ空調を併用した本研究における「ハイブリッド空調システム」の必要性とその研究課題を明らかにした。本研究では、自然換気量、内表面の温度及び内部の発熱、空調機の給気風量、温度などを初期条件として、連続方程式、運動方程式、エネルギー方程式等により、室内のシミュレーションツールを解析する。空気温度、気流、空気質などの分布を求め、室内の熱、空気流動の性状を分析した。以上の結果により、再びマクロモデルを利用してシステムのエネルギー消費、室内の快適性の評価を行った。

第 2 章は『ハイブリッド空調システムの基本コンセプトと提案』と題して、住宅に向けハイブリッド空調システムの基本的な考え方を考察した。ハイブリッド空調システムの目標としては、居住の快適性、エネルギー消費の削減、操作利便性と維持管理の容易性である。また、自然エネルギー利用の可能性を分析した上で、パッシブ空調システムの一例として、住宅でのダブルスキンシステム導入の可能性を分析した。又、アクティブ空調方式を改善する一例として、住宅での成層空調システム導入及び氷蓄熱システム導入の可能性を分析した。そして、住居の快適性、システムの省エネルギー性及び操作、管理の利便性を考慮し、北九州における実験住宅でハイブリッド空調システムを提案した。民家の縁側空間を活用したダブルスキンシステムを研究し、夏には煙突効果を利用する工夫、冬には温室効果を利用する工夫等自然換気を導入するポイントを研究した。また、ハイブリッド空調の一環であるアクティブ空調の改善として成層空調システムを提案し、給気口及びリターン口的位置を研究した。さらに、成層空調システムの熱源の改善策として、氷と空気を直接熱交換する氷蓄熱空調システムを考案した。

第3章は『ダブルスキンによる室内環境への影響に関するシミュレーション』と題して、ダブルスキン無しとダブルスキンありの場合のシミュレーションモデルを比較した。まず、北九州の気象条件に基づいて、熱バランスと仮定する開口部の流量係数より、マクロモデルを利用して、ダブルスキン内における自然換気量、平均気温及び各表面の温度を解析した。また、連続方程式、運動方程式、エネルギー方程式等により、空気温度と気流分布を解析する。ダブルスキンシステムの省エネルギー性、室内の快適性のシミュレーションを行った。その結果、夏季の自然換気時では、内側ブラインドの高度遮蔽効果や空気温度差からの煙突効果等により、ピーク時では従来式より約10～30%排熱率が確認できた。二階の部屋よりも一階の負荷削減率は約2%大であり、冷房季には、ダブルスキンにより約15%の負荷削減ができる。冬季にはダブルスキンの密閉モードで、内側のブラインドを上げる場合、日射が直接部屋の奥まで入り込み、室内の温度が外気より10～15℃高く、暖房季には、約20～30%の削減できる。中間期では、ダブルスキン空間の開口面積が自由に調整することができるため、非常に幅広い範囲で室内温度を調整でき、空調に頼らず快適な環境も実現することができた。

第4章は『ダブルスキンによる室内環境への影響に関する実測研究』と題して、北九州にある実験室でダブルスキンシステムの実測概要を紹介し、計測内容、計測ポイントの分布を示した上で、夏季、冬季、中間期の、実測研究を行った。その結果、夏季ピーク時(昼間)には、ダブルスキンの内ブラインドを閉め、自然換気時には、高さ方向の空気温度が0.5～1℃/m上昇し、南面の日射では、約10%が自然換気により排熱されて、室内の空調負荷は約12%を削減した。冬季では、ダブルスキンの内ブラインドを上げ、換気口を密閉した場合、ダブルスキン内の温度が外気より5℃～10℃高く、室内の暖房負荷が約30%を削減した。実測結果とシミュレーションはほぼ一致している。また、中間期では、ダブルスキンの運転モードを調整することができる。外気が23℃で、窓を開放する換気の場合、室内の気温は24℃で、外気とほぼ一致する。密閉モードでは、外気は20℃で、二階部屋における気温が約5～10℃高くなり、空調に頼らず快適な環境を操作ができる。自然気候が変動している時、室内の快適性を確保するためには、アクティブ空調も必要であり、次章では空調方式から、アクティブ空調を改善する成層空調システムの快適性と省エネルギーを研究する。

第5章は『成層空調に関するシミュレーション研究』と題して、ハイブリッド空調システムの一環としてのアクティブ空調の改善策として、住宅では成層空調を提案し、換気量を代表する換気回数、給排気口の位置及び給気口の特性による室内の快適性及び省エネルギー性への影響を把握するため、シミュレーションによるケースケーススタディーを行った。また、従来の混合式換気システムとの比較研究を行い、夏季住宅における成層空調の室内快適性とエネルギー消費を比較した。結果は、換気回数は室内の快適性、及び空調の省エネルギー性への影響が大きい。換気回数が多いほど、快適性の範囲は広がるが、換気回数が1回/時増えれば、冷房負荷は約2.6W/m²増加する。換気回数を10～12回/時に設定すれば、居住空間では快適な温熱環境が実現でき、活動度は1.0metで、着衣量は0.5cloと仮定すると、1.4m以下の空間ではPMVは0.5以下であり、それに伴う冷房負荷はやや少なく、約50～60W/m²である。また、給気口がスウィングした場合には、気流に影響する障害物があっても、室内気温の分布への影響は少ない。リターン口の位置は居住区域の快適性の影響が小さい反面、冷房負荷への影響が大きい。同様の成層空調において、リターン口が2.4m高さの位置から、1.8m高さの

位置に移動すると、冷房負荷を約 14%削減できる。さらに、従来の完全混合式システムと比べて、成層空調システムは、約 12%～26%の冷房負荷の削減効果が認められる。その原因は、主に天井と上部壁面からの熱損失が削減されるためと考えられる。換気効果からみると、成層空調システムにより、居住域において、空気齢の平均値が 1.25 であり、従来式は 1 しかないことを考えれば、成層空調システムの換気効率は優れていると確認した。

第 6 章は『成層空調に関する実測研究』と題して、夏季のピーク時、北九州における実験室で成層空調システムの実測結果とシミュレーションの比較をした。まず、実測の概要と計測ポイントの分布を示し、室内の温度、風速、室内の CO₂濃度及び内表面の温度などを実測した。その結果、高さ方向の温度分布から、成層空調の形成が確認できた。居住空間(1.8m 以下)は 26～28℃で、1.8m以上の空間は約 2℃高くなっており、上下温度勾配は 2～2.5℃/m であり、ISO7730 の推奨値 3℃/m より小さく、シミュレーション結果との相関係数は 0.95 であった。また、室内の気流速度が 0.25m/s 以下であり、乱流強度は 20%で、シミュレーション結果との相関係数は 0.85 であった。活動度は 1.0Met で、着衣量は 0.5clo と設定して、居住域における PMV の分布が -0.5～0.5 であり、快適な環境を実現することができた。CO₂濃度の分布からみると、居住域の平均値は 600ppm で、天井下は 800ppm、屋外の CO₂濃度は約 350ppm であった。完全混合式より、成層空調システムはより効果的に換気することができる。リターン口的位置を 1.8m 高さに設置した場合、天井からの排熱のため、ピーク時では、空調負荷は約 60W/m²で、従来の完全混合システムより 20～30%低くなった。空調負荷の実測結果はシミュレーションと比べて、約 10～15%高いのは、引き違いドアの隙間からの熱損失と考えられる。快適性、省エネルギー性などから、成層空調方式が効果的であり、次章では、住宅向け氷蓄熱空調システムの有効性を検討する。

第 7 章は『氷蓄熱空調システムの有効性に関する研究』と題して、成層空調システムの導入に伴い、ハイブリッド空調システムの熱源エネルギーを削減するために、深夜電力及び大温度差送風を利用する直接氷蓄熱システムの有効性を研究した。まず、実験住宅における年間空調負荷及び給湯負荷を計算し、氷蓄熱システムのヒートポンプ、貯湯槽容量、従来型システムのルームエアコンと電気温水器の容量を決め、氷蓄熱システムを設計した。また、シミュレーションモデルを構築し、直接熱交換式氷蓄熱空調システムの熱交換特性を明らかにし、システムのエネルギー消費、及び環境への影響、及び経済性を比較した。さらに実測により提案システムの評価を行った。シミュレーション結果からみると、熱交換器の面風速が 0.5 m/s 時には、直接熱交換器の圧力損失が 50 Pa で、熱伝達係数 8～40 W/m².℃である。ルームエアコンと電気温水器という従来型システムに比べて、提案型システムの電力利用量を 23%削減することができ、エネルギーコストは約 40%節約、CO₂排出量は約 25%削減できる。設備更新時期を 20 年とした場合、提案システムと従来方式の経済性はほぼ一致している。夏の実測結果により、氷と空気を直接熱交換する方式が実現したが、エネルギー消費の削減率がシミュレーションにより低い。その原因は熱損失が大きいためと考えられる。十分に保温すればエネルギー消費とランニングコストの削減も可能であると明らかにしている。

第 8 章『総括結論』では、各章における結論を総括した。