

内合22-41

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文審査報告書

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

Lei XU

建設工学専攻・都市環境

2003 年 3 月

近年のライフスタイルの変化等により、生活の利便性、快適性、豊かさが追求されるようになり、日本における民生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 を超えている。在室ワーク(SOHO)機能が進み、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が伸び続けている。一方で、居住者の健康や快適性に対する志向が高まり、室内環境に対する要求も高くなっている。そのため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。

本論文は、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、ハイブリッド型空調システムに関する実証的研究をしたものである。具体的には、パッシブ手法としては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利用の効果に関する研究であり、アクティブ空調手法として、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氷蓄熱空調システムの導入に関する研究を行っている。住宅におけるハイブリッド空調システムに関するシミュレーションと実測から、本システムの有効性を実証している。この研究成果は、パッシブ手法とアクティブ手法の両面から住宅の空調システムの新たな方向性を提示した研究として意義あるものと考えられる。

第1章は『従来研究及び本研究の位置づけ』と題して、近年のライフスタイルの変化よりエネルギー負荷が増加していることから本研究に至った背景を調査した上で、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について研究している。その結果として、建築外皮の改善により、冷暖房負荷を少なくするパッシブ空調と省エネルギー機器を利用するアクティブ空調を併用した「ハイブリッド空調システム」の可能性を示している。これにより、シミュレーションと実測でその有効性を確認する研究が必要であることを指摘している。

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、住宅におけるハイブリッド空調システムの基本的な考え方を示している。この空調システムの目的は、住居の快適性、エネルギー消費の削減、操作の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として、住宅でのダブルスキンシステムを導入している。アクティブ空調方式を改善するために、日本の住宅で使われることのなかった成層空調システムと氷蓄熱システムを導入している。住居の快適性とシステムの省エネルギー性や操作管理の利便性を考慮し、北九州における実験住宅でこのシステムを試作し運転した結果は、良好であったとしている。

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ありの住宅モデルを作成し、シミュレーションにより室内の空調負荷への影響を検討している。夏季自然換気時では、ダブルスキン内のブラインドの遮蔽効果と温度差換気効果により、ピーク時ではダブルスキンなしの場合より一階の空調負荷削減率は16%であり、二階は15%となっている。冬季ダブルスキン内の上下開口部を密閉し、

ダブルスキン内のブラインドを上げた場合には、日射が直接部屋奥まで入り込み、室内の温度が外気より 10～15℃高く、暖房負荷は 20～30%削減できるとしている。縁側空間を活用したダブルスキンは外部との緩衝空間となるため、夏季の煙突効果と冬季の温室効果により、空調負荷の削減状況は明らかにしている。これより、ハイブリッド空調の一環として、ダブルスキンによるパッシブシステムの有効性をシミュレーションにより明らかにした成果は大である。

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、ダブルスキンシステムの実測研究を行っている。その結果、夏季自然換気の場合には、ダブルスキン内の高さ方向の煙突効果を確認した上で、約 10%が自然換気により排熱され、室内の空調負荷は約 15%削減できるとしている。また、冬季密閉する場合には、ダブルスキンの温室効果により、暖房負荷が 31%削減できるとしている。この結果は 3 章のシミュレーション結果と良く一致している。冬季の自然室温は外気より 15℃上昇し、中間期では、ダブルスキンの開口面積を自由に調整することによって空調に頼らずとも快適な環境が確保できるとしている。更に、被験者の申告調査からダブルスキンシステムの実用性を評価している。以上の成果により、ダブルスキンシステムの実用性を評価することができ、夏、秋と冬の実測からもダブルスキンの有効性を立証している。

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、これまで住宅で実現されていない成層空調システムを提案し、給気風量、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のシミュレーション研究を行っている。その結果、給気風量は室内の快適性や空調の省エネルギー性への影響が大きく、給気風量が大きいほど清浄空気域は広がる。リターン口の位置は居住区域の快適性に与える影響が小さい反面、冷房負荷への影響が大きいとしている。同様の成層空調において、リターン口が 2.4m 高さから 1.8m 高さの位置に移動すると、冷房負荷が約 14%削減でき、さらに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としている。従来の完全混合式システムと比べて、約 12～26%の冷房負荷の削減効果がみとめられる。その原因は、主に天井と上部壁面からの熱損失が削減す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る居住域の換気効率の平均値は 1.25 で、完全混合式でも 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評価される。以上のように、日本の住宅では実現困難と考えられていた成層空調システムの有効性を提示したユニークな研究として評価に値する。

第 6 章は『成層空調に関する実測研究』と題して、成層空調システムの実測研究を行っている。高さ方向に空気の温度成層が確認でき、1.8m 以下の居住空間では 26～28℃で、1.8m 以上の空間では約 2℃高くなり、上下温度勾配は 2～2.5℃/m となっている。また、室内の気流速度は 0.25m/s 以下、乱れの強さは 20%、活動量は 1 met、着衣量は 0.5clo の場合、居住域における PMV の分布が -0.5～0.5 であり、居住域 CO₂ 濃度は天井下より低く、より効果的に換気することができることを明らかにしている。リターン口の位置を 1.8m 高さに設置して天井から排熱したため、ピーク時では従来の完全混合システムより

20～30%低くなっているが、空調負荷は約 60～70W/m²でシミュレーション結果と比べて約 10～15%高くなっている。その原因は引き違いドアの隙間からの熱損失と考えられる。以上から、成層空調方式の快適性と省エネルギー性を実測し、住宅での成層空調システムが有効に運転されていることを実証している。

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、氷蓄熱システムの有効性に関する研究を行っている。住宅における冷房負荷の増加による蓄熱空調システムの必要性から、蓄熱空調システムの省エネルギー性、経済性を予測している。直接熱交換式氷蓄熱空調システムを提案し、シミュレーションにより直接熱交換式蓄熱コイル部分の熱交換特性を解析し、実測により提案システムの評価を行っている。シミュレーション結果からみると、直接熱交換器を用いた提案システムは従来型のルームエアコンと電気温水器併用型と比較し、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%削減できることを示している。設備更新時期を20年とした場合、提案システムの経済性と従来方式はほぼ一致している。夏の実測結果では、氷と空気を直接熱交換することに成功しているが、エネルギー消費の削減率がシミュレーション結果より低いの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している。以上のように、ハイブリッド空調システムとして氷蓄熱システムを利用する有効性を提示している。

第8章『総括結論』では、各章における結論を総括している。

以上を要するに、日本の住宅で最も数多い戸建住宅に自然エネルギーを活用したパッシブ空調と改良したアクティブ空調を統合した「ハイブリッド空調システム」を適用することによる有効性を、シミュレーションと実測により定量的に実証したユニークな研究成果である。本論文は今後の都市環境工学の発展に大きく寄与するものであり、博士（工学）の学位授与に値するものと認められる。

2003年3月

審査員（主査）	早稲田大学理工学部教授	工学博士（早大）	尾島 俊雄
	早稲田大学理工学部教授	工学博士（早大）	長谷見雄二
	早稲田大学理工学部教授	工学博士（早大）	田辺 新一
	早稲田大学理工学部総合研究センター客員教授	工学博士（早大）	中島 康孝