

氏 名	ゆん そん ふん 尹 星 勲
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成 17 年 9 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市建築学専攻
学位論文の題目	住宅用ハイブリッド換気システムの性能評価法と最適制御条件に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 吉野 博
論文審査委員	主査 東北大学教授 吉野 博      東北大学教授 管野 實 東北大学教授 三橋 博三      東北大学助教授 持田 灯

## 論 文 内 容 要 旨

近年、快適な居住環境への要求が高まると共に地球環境の観点に基づく省エネルギーの社会的要請に伴い、建物の高断熱・高気密化が推進されつつある。一方、健康に有害な化学物質を含む新建材や施工材の普及と、換気不足が原因となる室内空気質 (Indoor Air Quality) 問題が台頭している。従って、建物のエネルギー性能を向上させながら清浄な室内空気質を確保するため、室内空気質および温熱環境に配慮した計画換気に対する必要性が高まっている。これに関連し、国土交通省によるシックハウス防止のための改正建築基準法では、新築建物では居室において 24 時間常時運転できる換気システムを設置することが義務付けられた。よって、機械ファン用のエネルギーを節約できるハイブリッド換気システムが浮上しているが、その性能評価および最適条件に関しては十分な研究が行われていない。

そこで、本研究では、住宅用ハイブリッド換気システムを研究対象とし、その性能評価のための基準および新たな指標を提案するとともに、それぞれのハイブリッド換気システムが目標としている性能をより有効に達成するための最適制御条件について明らかにすることを研究の目的と

している。特に、ハイブリッド換気システムの性能を左右するカギとなる制御手法に着目し、数値計算および現場実験による考察を行った。

第 1 章「序論」では、研究背景として、高気密住宅における換気不足問題と、室内空気質問題との関連性について示す。ハイブリッド換気システムの概説では、システム概念とともに、その普及に関する展望について述べる。また、既往の研究では、ハイブリッド換気システムに関するこれまでの研究で表れた問題点について示し、本研究の特色および位置付け、論文の構成について述べる。

第 2 章「給気バランスに着目した床下給気方式の最適条件に関する数値計算」では、2 階における外気導入量の不足問題の解決に向け、給気量のバランスをシステム性能評価の指標とし、床下給気方式ハイブリッド換気システムを対象した数値計算により最適条件について検討した。一方、本章では、内外温度差を制御の基準として用いるハイブリッド換気システムを対象としている。

図 1 にシステムの概念図を示した東北大学の換気実験棟を対象に行った数値計算による検討、

では、1階と2階の給気バランスを得るためのパラメータとして1階給気ダクトの開口面積を用いており、建物の気密性能が高くなるほど1階給気ダクトの開口度をより大きくする必要があることが分かった。また、給気バランスのための給気口の面積条件は、地域による気候差はハイブリッド換気システムの制御によって縮まり、主に気密性能によって決まることが明らかとなった(図2)。

第3章「換気量の安定性に配慮した制御手法に関する性能評価実験」では、温度差を制御基準とするハイブリッド換気システムの場合、外部風の影響に対応できない限界があることに着目し、差圧を制御基準として用いる定風量型ハイブリッド換気システムを対象とした性能評価実験の結果を基に考察を行った。ここでは、換気量の安定性を性能評価の指標として用い、外気条件の変動に対する風量制御の精度を中心に性能評価を行った。実験では、実在住宅を対象としており、外気条件に対するハイブリッド換気システムの運転状況を把握するため、基本的な換気量測定と同時に、補助ファンの回転数および、ダンパーの角度をモニタリングした。

実験の結果、内外温度差および外部風向風速の変動に対して補助ファン・ダンパーが対応し、目標とした風量を維持していることが分かった(表1)。しかし、給気のために自然換気口を用いる給気方式を用いたため、1階の外気導入量が8割を占め、給気バランスが得られない結果となった(図3)。

第4章「給気バランスおよび換気量の安定性に適した給排気条件に関する性能評価実験」では、給気量のバランスと換気量の安定性を同時に確保できることをシステム性能評価の指標とし、定風量型ハイブリッド換気システムと床下給気方式を組み合わせた条件を中心に換気実験棟を対象とした性能評価実験を行った。実験条件として

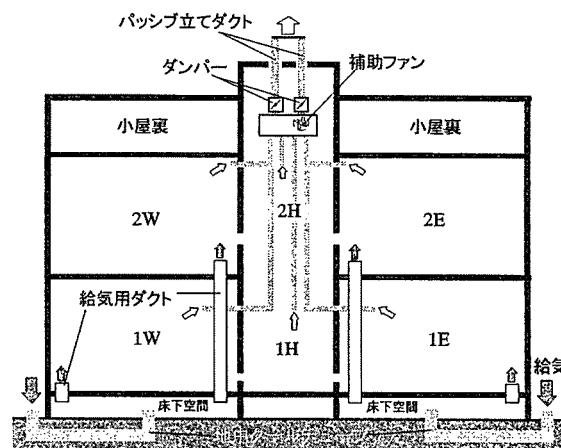


図1 床下給気方式ハイブリッド換気システムの概念図

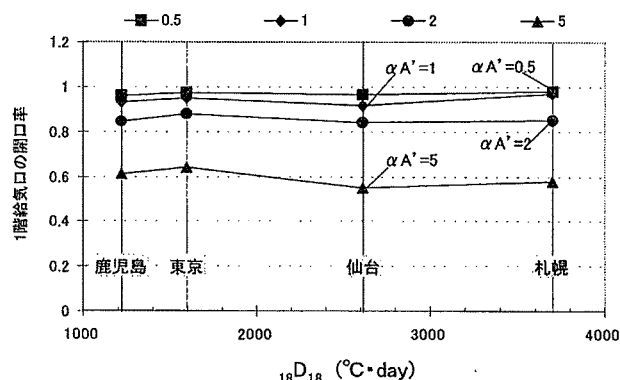


図2 暖房日数および建物の気密性能に対する給気バランスが得られる1階給気ダクトの開口率

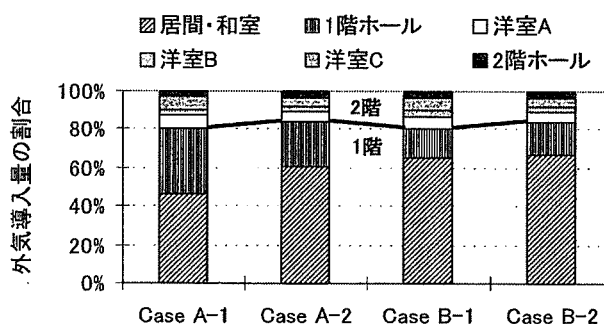


図3 各室における平均外気導入量の割合

表1 各運転モードにおける測定項目別の平均値

運転モード	ファンの回転数 (RPM)	ダンパーの角度 (degree)	排気風量 (m³/h)	内外温度差 (°C)	外部風速 (m/s)
1	0	45	115	20	6.6
2		60	115	22	6.0
3		90	95	21	3.2
4	160		104	17	1.6
5	240		102	18	3.3
6	320		101	17	3.6

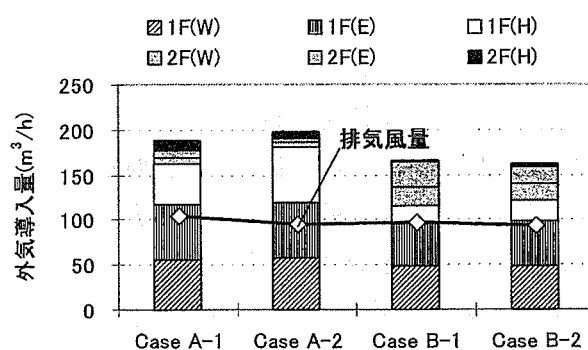
は、給気方式について自然給気方式と床下給気方式の2条件、排気を行う場所について2階のみにする場合と1階と2階で同時に排気する場合に分け、全部で4つの条件に対して比較した。実験の結果、定風量型ハイブリッド換気システムとともに床下給気方式および、2階のみ排気する給排気システムの条件で、2階における外気導入量をより確保することができることが分かった(図4)。

さらに、換気量の安定性に関して、床下給気方式では外部風向風速および内外温度差の変動による影響に対し、より安定的に目標風量(95~125m<sup>3</sup>/h)を得ることができることを示した(図5)。

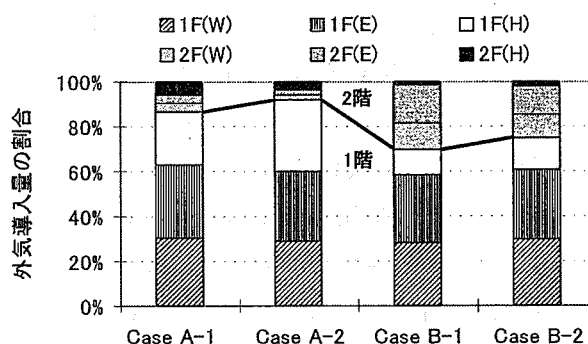
一方、定風量型ハイブリッド換気システムでは、常に一定の換気量を維持することを目標としているため、場合によっては、暖冷房および、補助ファン用のエネルギーを無駄にすることもあると考えられる。即ち、室内空気質の汚染度を考慮していないため、換気が必要としない状況でも換気を行うことにより、冬季・夏季にはエネルギー消費量を増大することが懸念される。

第5章「ディマンドコントロール・ハイブリッド換気システムの最適制御条件に関する数値計算」では、室内の汚染質濃度を用いるディマンドコントロール・ハイブリッド換気システムについて新たに提案した。即ち、換気が必要とする時間・場所に必要な換気量を供給する新しい概念のハイブリッド換気システムである(図6)。

性能評価の指標としては、居住者が汚染物質にどれだけ長時間にわたって暴露されるかを表す累積暴露濃度、暖冷房負荷、および稼働率を考慮した補助ファンの稼働時間を用いた。つまり、目標とする空気質をどれだけ省エネルギー的に確保できるかを性能の指標として用いる。検討には建物熱計算プログラム TRNSYS と多数室換気計算プログラム COMIS の連成モデルに、補助ファン・ダンパーの自動制御に関する自作コードを組み込み、日本建築学会の標準住宅モデルを対象

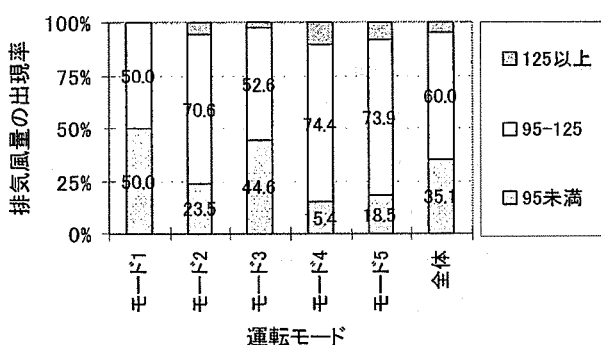


(1) 各室における平均外気導入量および排気風量

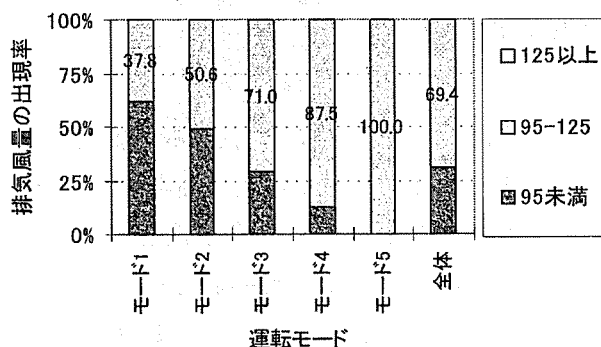


(2) 各室における平均外気導入量の割合

図4 各室における平均外気導入量およびその割合



(1) 自然給気方式



(2) 床下給気方式

図5 各運転モードに対する目標風量の出現率

とした数値計算を用いた。また、制御の基準としては、CO<sub>2</sub> 及びホルムアルデヒドの濃度を用い、各部屋の汚染質濃度とその増減に応じて補助ファン・中央ダンパー、各室の給排気用ダクトの個別ダンパーを制御する。

表 2 に示す計算ケース(一部)に対する計算の結果、機械換気システムに対して、補助ファン・ダンパーにディマンドコントロール手法を導入する場合に、汚染質の濃度が指針値を超えない範囲内で2割の暖房負荷と補助ファンの稼働時間が削減できた。また、排気側の個別ダンパーを制御

対象に加えることで、さらに1割の暖房負荷と補助ファンの稼働時間が減ることが明らかとなった(図 7, 図 8)。これらの結果により、空気質のを制御基準として用いるディマンドコントロール・ハイブリッド換気システムの有効性と、特に、排気ダクトの風量を個別制御することがシステムの制御において最適であることを明瞭度らかにした。

第 6 章「結論」では、各章の研究成果を総括するとともに、今後の展望について述べた。

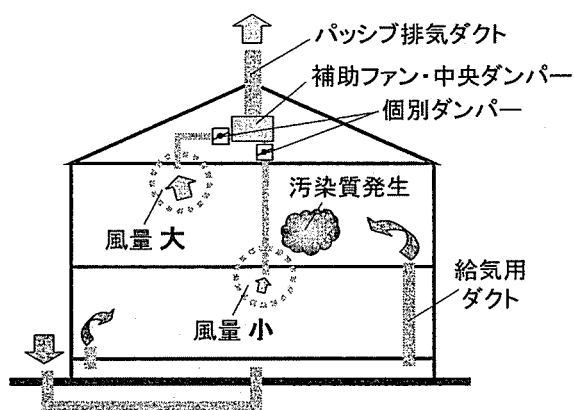


図 6 ディマンドコントロール・ハイブリッド換気システムの概念図

表 2 計算ケース

換気システム	ディマンドコントロールによる制御対象			Case No
	補助ファン・ダンパー	各室の個別ダンパー		
		排気用ダクト	給気用ダクト	
機械換気(第3種)	制御しない	制御しない	制御しない	M1
ハイブリッド換気	制御	制御しない	制御しない	H1
		制御	制御しない	H2
		制御しない	制御	H3
		制御	制御	H4

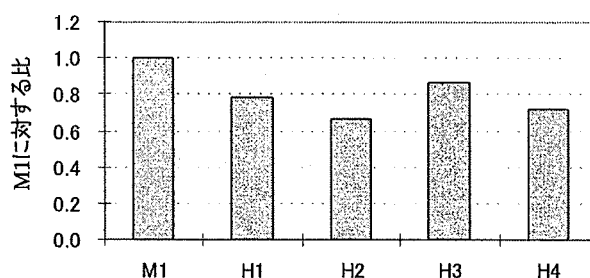


図 7 暖房負荷に関する計算結果 (ケース M1 に対する比)

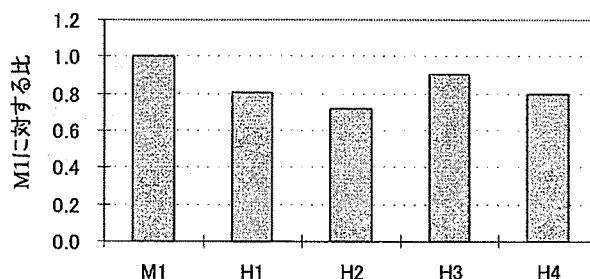


図 8 補助ファンの稼働時間に関する計算結果 (ケース M1 に対する比)

# 論文審査結果の要旨

本論文は、エネルギー節約が期待できる住宅用ハイブリッド換気システムを対象として、システムの性能評価の方法を提案するとともに、室内空気質と省エネルギーの観点から換気システムを最適に制御できる条件について、実在の建物を対象とした実験、並びに数値計算によって明らかにした研究であり、6章からなる。

第1章では、研究目的、研究の背景および既往の研究について述べており、本研究で着目した課題について示している。

第2章では、1階と2階に対する給気量をバランス良く確保することを目的とした床下給気方式を対象として、そのシステムが設置された東北大学の換気実験棟をモデルとして数値計算を行い、建設地域に関わらず建物の気密性能に応じて1階用の給気用ダクトの開口面積を調節すれば、給気量を1階、2階へとバランス良く供給できることを示している。

第3章では、排気風量を差圧によって検出し、それに基づいて補助ファン・ダンパーを制御する定風量型ハイブリッド換気システムを対象とし、これを岩見沢市における実在住宅に設置した上で、現場における長期の性能評価実験を行い、このシステムが外気条件の変動に対して安定して換気量を確保できることを示している。

第4章では、換気量の安定性、及び1階と2階への給気バランスを同時に実現することを目的とした定風量型ハイブリッド換気システムと床下給気方式の併用システムを対象とし、東北大学の換気実験棟における長期にわたる性能評価実験に基づいて換気量の安定性と給気バランスが確保できることを示している。これは、実用化する上での貴重な成果であるといえる。

第5章では、新しい制御手法として、空気汚染質の濃度に応じて換気量を調整するディマンドコントロール・ハイブリッド換気システムを提案し、日本建築学会の標準住宅モデルを対象とした数値計算を行い、補助ファン・ダンパー並びに各室の排気用個別ダンパーを制御する手法が暖房負荷および補助ファンにおけるエネルギーを削減するために有効であることを示している。本システムは、更なる省エネルギーを実現することが期待できるものであり、この提案は高く評価できる。

第6章では、結論と今後の課題を示している。

以上のように、綿密な実験と数値計算に基づいて住宅用ハイブリッド換気システムの性能評価法と最適制御条件に関する研究がまとめられており、実用性の高い成果が得られたものと評価された。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。