

Development of a passive dehumidification system with energy recovery ventilation for residential buildings by using solar energy

陳, 雨露

<https://hdl.handle.net/2324/7329398>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (工学) , 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 陳 雨 露 (チン ウロ)

論 文 名 : Development of a passive dehumidification system with energy recovery ventilation for residential buildings by using solar energy

(太陽熱を利用した住宅の自然除湿・全熱交換換気システムに関する研究)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

2050 年カーボンニュートラルおよび 2030 年温室効果ガス 46%排出削減 (2013 年度比) の実現に向け、エネルギー消費量の約 3 割を占める建築分野には緊要の温暖化対策が求められている。国土交通省、経済産業省、環境省の 3 省は合同して 2030 年以降に新築される住宅に対して ZEH (Net Zero Energy House) 基準の省エネ性能の確保を目指し、徹底した省エネルギー対策と再生可能エネルギーの導入拡大に取り組んでいる。そのため、最近の住宅は冷暖房負荷の低減を目的として断熱気密性能が強化されており、また、施工精度の確実性と簡便性を重視して工業建材を使用した乾式構法が採用されている。

「建築物省エネ法 (建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律)」の施行により断熱気密性能は格段に進歩しているが、性能表示は相変わらず定常伝熱に基づいた「外皮平均熱貫流率」、「日射熱取得率」あるいは「住宅事業建築主の判断基準算定用 WEB プログラム」によることが多い。したがって、太陽熱、放射冷却、外気冷房などの再生可能エネルギー利用や建物躯体の吸放熱と吸放湿など、非定常伝熱特性が影響する構法固有の特徴は勘案されず、一辺倒な断熱気密化に拍車をかける結果となっている。ZEH 基準 (エネルギー消費性能基準) は高い水準であるが、それでも住宅用エネルギー消費量のうち約 3~4 割は冷暖房に使用されている。今後、住宅の断熱気密性能をいっそう強化しても冷暖房エネルギー消費量はわずかに削減される程度で、しかも温暖化により冷房用は却って増加すると推察されるため、将来のゼロエネルギー住宅を目指した更なる省エネルギーのためには新たな技術の導入が不可欠である。特に、夏季冷房時の除湿 (潜熱負荷) に関しては有効な削減方法が見当たらず、喫緊の対策を要する必須の革新的省エネルギー技術と考えられている。

そこで、本研究では再生可能エネルギーを利用し、夏季に除湿・冷却の機能を備えるパッシブ住宅の設計を目的として、工業建材を主とする乾式住宅にも適用可能な除湿・冷却の特性を有する熱性能可変システムを開発する。本システムは、室内外の熱力学ポテンシャル差を利用して、空気循環により夏季は自然に除湿・冷却する外被システム「PDSC system (Passive Dehumidification System utilizing Solar Collection)」に全熱交換器「ERV (Energy Recovery Ventilator)」を併用し、外気負荷の削減と室内湿度の更なる低下を実現するハイブリッド換気システム「PSE (PDSC with ERV)」である。本論文では、実大の実証住宅による屋外実験、および熱・水分・空気連成を考慮した建築温湿度・熱負荷シミュレーションにより、本システムの温湿度制御性能および省エネルギー効果について検討した。

本論文は 5 章より構成される。第 1 章では、研究背景、研究目的、論文構成について述べた。

第2章では、温度・濃度・圧力・外力等の水蒸気移動に関わる各種物理量を同次元のエネルギーポテンシャルに統一化し、熱力学関数で定義される水分ポテンシャルにより湿流の駆動力を表現して、PSE ハイブリッド換気システムの自然除湿理論を構築した。非平衡熱力学に則り熱・水分・空気の連成現象を水分ポテンシャル勾配によるエネルギーの流れとして表すことで、PDSC 外被システムの基本原理を説明するとともに、これにERVを併用したハイブリッド換気システム「PSE」を提案した。透湿性断熱材で仕切られた2つの空間を等温等湿に保った状態から片方の空間を加熱すると、温度上昇により高温側空間は乾燥度に関係する場のエネルギーが低下するため、低温側空間から高温側空間に水分ポテンシャル勾配が生じて貫流湿流（自然除湿）が発生する。PDSC 外被システムは、室内空気を断熱材外側に設けた通気層を介して外気に空気循環し、太陽熱により通気層を加熱することで昼間に上記の状態を作るパッシブ技術である。さらに、夜間は通気層から室内に空気循環することで、断熱材が吸着剤の役割を果たしてデシカント効果による除湿機能が働く。なお、空気循環は、夏季夜間は放射冷却、冬季昼間は太陽集熱により、季節により冷房と暖房の効果を有する。PSEは、PDSC 外被システムの空気循環経路と流量をERVで制御し、換気による外気負荷を削減しつつ効率的に除湿と冷却を行うハイブリッド換気システムである。

第3章では、PSE ハイブリッド換気システムを導入した実証住宅を下関市に設計施工し、換気方式を第3種換気、全熱交換換気、PSE 換気に変更して室内熱環境を実測した。自然状態および空調状態において各換気方式の室内温湿度を比較することで、夏季の除湿効果について検討した。測定期間は異なるものの、自然状態における外気と室内の絶対湿度の差は平均で、PSE 換気 3.4g/kg' 、全熱交換換気 2.3g/kg' 、第3種換気 1.3g/kg' となり、PSE 換気の室内湿度が最も低くなった。また、相対湿度の期間較差は、第3種換気と全熱交換換気はいずれも約15%にもなるのに対して、PSE 換気は約8%と小さく、恒湿性に優れることが示唆された。この傾向は空調状態でも同様であり、機械除湿が働く状況でもPSE 換気の自然除湿効果が認められた。

第4章では、熱・水分・空気の連成を考慮した建築全体の温湿度・熱負荷計算ソフト「THERB for HAM」にPDSC 外被システム、全熱交換器、およびヒートポンプ空調機熱源特性モデルの解析コードを組み込み、数値シミュレーションにより本システムの温湿度制御性能および省エネルギー性能について検討した。まず、実証住宅を対象に自然状態と空調状態の数値シミュレーションを行い、計算値と測定値を比較することで開発ソフトの高い計算精度を確認した。次に、拡張アメダス気象データを使用した数値実験により、換気方式の違い、PDSC 外被システムの有無、ヒートポンプ空調機の性能が室内熱環境および潜熱負荷に及ぼす影響を明らかにした。その結果、①自然状態ではERVの室内絶対湿度は外気よりも高くなるのに対して、PDSCとPSEはそれぞれ 2.0g/kg' 、 2.8g/kg' も低く、自然除湿の効果が大きいこと、②空調状態ではPDSCとPSEの効果はさらに増加し、ERVでは外気に比べて室内絶対湿度が 0.9g/kg' 低い程度なのに対して、PDSCとPSEはそれぞれ 2.7g/kg' 、 3.6g/kg' も低下すること、③第3種換気と比較して、冷房潜熱負荷はERV、PDSC、PSEの順に20%、28%、56%も低減されること、④省エネ空調モード（室内機の吹出し風量を増やす）では冷媒温度が高くなり除湿量が減少するため、第3種換気とERVでは室内湿度が上昇するが、PDSCとPSEは自然除湿効果が働き室内湿度はほとんど変化せず、しかも潜熱負荷が93%も削減されること、などを示した。

第5章では、各章で得られた知見を要約して総括とし、今後の課題について整理した。