

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高温多湿気候における潜熱蓄熱材を用いた自然換気住宅の熱環境性能評価に関する研究
Title(English)	Thermal performance evaluation of naturally ventilated buildings installed phase change materials in hot and humid climates
著者(和文)	北川遼
Author(English)	Haruka Kitagawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12787号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:浅輪 貢史,松岡 昌志,鍵 直樹,大風 翼,湯浅 和博
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12787号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	建築学 都市・環境学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	北川 遼		審査員主査： Chief Examiner	浅輪 貴史 准教授	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx. 2000 Japanese characters)

本論文は「高温多湿気候における潜熱蓄熱材を用いた自然換気住宅の熱環境性能評価に関する研究」と題し、以下の8章より構成した。

第1章「序論」では、東南アジアなどの年間を通じて冷房需要が高い高温多湿地域において、地域の気候特性に適應するパッシブクーリング技術を効果的に住宅に導入することで、冷房負荷の低減と快適性の向上が両立できる可能性について論じた。そのうえで、既往研究を概観しながら、パッシブクーリング技術は特徴の異なる複数の技術を適切に組み合わせることで冷却効果を向上させ日中の快適性向上に寄与できる可能性を指摘した。そこで、高温多湿気候においてパッシブクーリング技術の効果的な組み合わせを提案し、それら技術を導入することによる住宅の熱環境性能を冷却効果や快適性の観点から明らかにするとともに、最適設計・運用方法を提示することを本研究の目的として述べた。

第2章「パッシブクーリング技術のレビューと提案」では、系統的レビューにより高温多湿気候におけるパッシブクーリング技術の研究動向を明らかにしたうえで、効果的なパッシブクーリング技術の組み合わせを提案した。系統的レビューにより抽出された39,604件の文献を対象に複数の技術の特徴を分析した結果、高温多湿気候では自然換気が熱的快適性向上の主要因となることを示した。また、建物の蓄冷効果を向上させる潜熱蓄熱材（PCM）に関する研究が2010年代以降急激に増加していることを示し、外部風の変動による可感気流低下の課題を補うためにも、PCMによる蓄冷と自然換気の組み合わせは有効である可能性を指摘した。これらの結果を踏まえ、自然換気住宅に適した窓システムと、PCMによって構成される夜間蓄冷型の床冷却システムの組み合わせを提案した。

第3章「窓システムの最適設計」では、自然換気住宅において室内鉛直通風経路をコントロールすることで、室内に可感気流を導入しつつPCMの蓄冷効果を維持できる窓システムを同定した。インドネシアのタンゲラン市に位置する実験住宅を対象とした実測にて複数の窓システムの通風性能を比較検討した結果、横軸回転窓は外部風向に依存せずに居住高さの風速を増加させ、床面の熱伝達率が減少することで蓄冷効果の持続に寄与することを明らかにしており、熱環境性能上、最適な窓システムであると結論付けた。

第4章「PCMの蓄冷効果の実測評価」では、PCMの蓄冷効果に関する基本性能を実測により示すとともに、床冷却システムの蓄冷効果を十分確保するための外気側・室内側の温度条件と床下の換気条件を明らかにした。その結果、適切な相変化温度設定により潜熱の蓄冷効果を高めることは、床表面温度の大幅な低下をもたらすことを示した。一方で、高温多湿地域の夜間は概して風速が小さく外気温も高いため、床下を強制換気することでPCMの凝固を促し蓄冷量を確保できることを明らかにした。さらに、日較差が4.7°C以上で昼夜の相変化が十分起こることから、日較差の小さい高

温多湿地域の気候条件にも適合可能な技術であることを確認した。

第5章「PCMの蓄冷方法の感度分析」では、PCMの蓄冷に影響を及ぼす因子を詳細に明らかにするために、室内における熱流体と伝熱の連成解析を用いた感度分析を行った。まず、導入する連成解析モデルは、PCMの蓄冷効果について温度場と蓄冷量の両面からの評価を可能とし、連成による精度向上も実測結果との比較により確認した。そのうえで同モデルを用いた感度分析により床下換気量等の各種影響因子とその最適条件を同定し、PCM近傍の風速を高めることが効果的に蓄冷をするうえで重要であることに加えて、床下強制換気の運転スケジュールを外気温で制御することで蓄冷効果を最大にできることを明らかにした。

第6章「ヒステリシスを考慮したPCMの相変化とその年間評価」では、PCMの温度変化に特有のヒステリシスを考慮したうえで床冷却システムの性能評価を行い、年間を通じた蓄冷効果の活用のための設計指針を決定した。熱回路網計算を用いて年間の性能評価を行った結果より、PCM周囲の日平均気温に加えて、日最高気温と最低気温が液相・固相の割合に大きく影響するため、PCMの適切な相変化温度を設定するための有効な指標となり得ることを示した。さらに、年間の平均潜熱活用率を70%として設計することで、PCMの蓄冷効果を維持しながら床表面温度の低減が通年で可能となることを明らかにした。

第7章「熱的快適性のための窓開閉の最適制御」では、前章までに個別の性能評価が行われた窓システムとPCMの蓄冷効果の組み合わせを適切に運用するために、窓開閉制御により熱的に快適な時間を最長化するための条件を同定した。まず、前章の熱回路網計算に換気回路網計算を連成させることで通年における可感気流とPCMの蓄冷の組み合わせ効果を精度よく評価可能とした。連成解析により、高温多湿気候下では室温27°Cを基準に窓開閉を制御することで、朝方は窓閉めにより蓄冷効果を持続しながら、外部風速が卓越する午後に窓開放を行えるという、蓄冷と可感気流の効果を最大限享受可能な運用を可能とし、その結果、年間の熱的快適期間は83%に達することを明らかにした。

第8章「結論」では、各章で得られた知見を総括し、結論と今後の課題を述べた。

以上要するに、本論文は高温多湿気候の地域に適応する住宅の効果的なパッシブクーリング技術の組み合わせを系統的レビューを踏まえて提案し、その熱環境性能および最適設計・運用方法を実測と数値解析により定量的に明らかにした。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	建築学 都市・環境学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	北川 遼		審査員主査： Chief Examiner	浅輪 貴史 准教授	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The main objective combination of passive cooling methods for hot and humid climates in terms of thermal comfort. Based on a comprehensive overview of passive cooling methods (Chapter 2), this study focuses on the combination of natural ventilation and phase change materials (PCMs) and evaluates their cooling effect on residential buildings. The proposed comprehensive floor cooling system comprises window systems, window-opening controls, and PCMs for naturally ventilated buildings. Chapter 3 shows that the horizontal pivot window led to inflow to the occupied level regardless of the outdoor conditions. Although it reduced air velocities near the floor and the heat transfer coefficient on the floor, the increase in thermal storage owing to the PCMs had a greater effect on the retention of the floor cooling effect, compared with the effect of the window design. Therefore, Chapter 4 analyzes the measures to ensure the thermal storage effect of the proposed system. The thermal storage effect of latent heat with an appropriate phase change temperature is particularly influential in lowering the floor surface temperature during the daytime. Meanwhile, in Chapter 5, the air velocities that ensure the solidification of the PCMs in the underfloor space were found to be a key parameter during nighttime, and the thermal storage was maximized when the operational schedule of the underfloor ventilation was controlled by the outdoor temperature. Regarding the indicator of the phase change of the PCM (Chapter 6), the daily maximum and minimum ambient temperatures of the PCMs significantly affected the maximum and minimum liquid fractions, respectively. Thus, it can be a useful guideline for selecting an appropriate phase change temperature. Finally, the optimum window-opening control analyzed in Chapter 7 shows that the thermal storage effect of the PCMs using night ventilation extended the thermal comfort period and reduced the cooling load in the morning. As the outdoor air temperature increased, the outdoor wind speed tended to increase, and the ventilative cooling compensated for the increased room temperature. When these findings for the combination of natural ventilation and PCM were applied, occupants in hot and humid climates can spend most of the year comfortably, while reducing energy consumption.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).