

トロンブウォールとPCMによる 外気負荷削減システムの開発

森 太 郎 [北海道大学大学院工学研究院／准教授]
石戸谷 裕二 [室内気候研究所／代表]
菊 地 洋 [コーナート札幌株式会社／専務]
松永 潤一郎 [株式会社マツナガ／代表]

背景・目的

近年、北海道の住宅は高断熱・高气密化の進展により断熱性能や気密性能が高まってきたが、これ以上の断熱性能の向上による省エネルギー化が厳しい現状となっている。そこで今後、より省エネルギー化を目指すためには日射を利用した外気負荷の削減に注目する必要がある。しかし、日射を得ることができる時間帯は在宅人数の少ない日中のみであるという点から、太陽熱を移行できる蓄熱システムと組み合わせることが重要になる。

そこで本研究では、既往の研究1)、2)から蓄熱材の一つである PCM に注目し、太陽熱集熱器と組み合わせることにより、日中得られる太陽熱の夜間利用を可能とし、外気負荷削減装置の開発を目的とし、実験及び解析によって装置の実用性を検討した。

内容・方法

本研究では以下の内容を実施した。

① トロンブウォールと PCM を組み合わせたプロトタイプの作成と実験

日中は、トロンブウォールで外気を加熱した後に板状 PCM20 枚を並べたダクト内を通過させることで、その熱を PCM に蓄熱させ、日没後は熱回収を行うシステムを作成し、戸外に設置し実験を行った。

② 板状 PCM の融解、凝固性能把握実験とシミュレーションモデルの作成

シミュレーションモデルを作成するために、風量をパラメーターに、板状に並べた PCM 内に空気を通過させる実験を行った。

③ シミュレーションによる最適組み合わせの検討

作成したシミュレーションモデルを利用して、a. トロンブウォールの面積、b. PCM の融解温度、c. PCM の量、d. 地域をパラメーターにシミュレーションを実施した。

結果・成果

① トロンブウォールと PCM を組み合わせたプロトタイプの作成と実験

写真1に実験装置の外観を示す。また、図1は実験装置の概要、図2は実験結果の一例である。日射量が多い1日目では外気温と入口温度の差は最大約25℃、日射量が少ない2日目では最大約4℃で、日射量によって温度差が変動した。また PCM 通過後の温度が入口

温度を下回るときは蓄熱、上回るときは放熱するという PCM の特性が表れ、PCM による太陽熱の夜間移行が可能となった。しかし、放熱時間が4時間のみで、PCM 表面温度が融点26℃を上回る時間が短いことから、蓄熱量が少なく、PCM を十分に融解されなかったため放熱時間が短くなったと考えられる。PCM を十分に融解させ、放熱時間を長くするために、PCM の融点の設定について検討する必要があることがわかった。



写真1 実験装置の外観

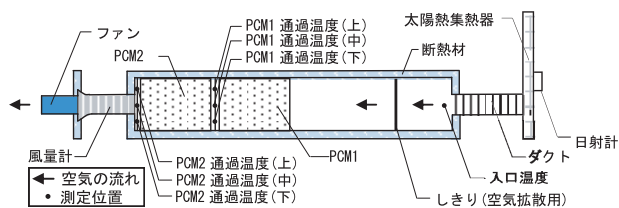


図1 実験装置の模式図

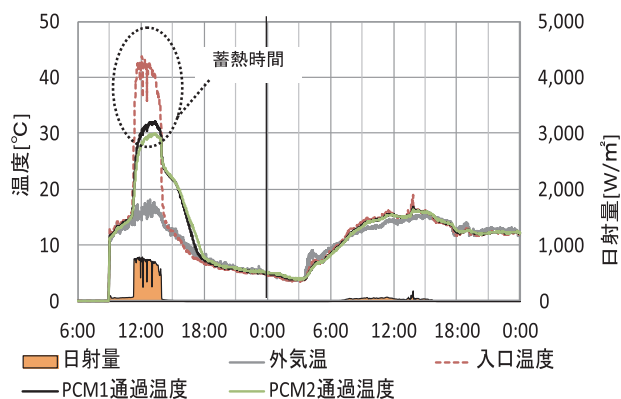


図2 実験結果の一例

② 板状 PCM の融解、凝固性能把握実験とシミュレーションモデルの作成

シミュレーションモデルを作成するために、風量をパラメーターに、板状に並べた PCM 内に空気を通過させる実験を行った。本実験は北海道職業能力開発大学校の実験室で実施し、6通りの実験を行うことで、風量による蓄放熱の時間の違いについて調べた。各実験は装置内の空気温度、PCM 表面温度が入口温度と同値になるまで行った。

図3に本実験で使用した実験装置の平面図を示す。PCM の設置方法は前章と同様にしたが、PCM の設置

位置による融解または凝固の違いがあるか検証するため、図3で表している計6箇所のPCMの表面温度を測定した。

図4にPCMの融解過程と凝固過程の温度変動の様子を示す。PCM表面温度が融点の26℃付近に達すると融解または凝固が始まり、26℃を保ち続け、融解または凝固終了後に再び温度上昇または下降するというPCMの特性がみられた。この現象は全ての実験で確認された。また、風量が大きいほど蓄放熱の時間が短くなった。その要因として、風量が大きいほど空気とPCM間の熱伝達率が大きくなるため、熱交換がされやすくなることが考えられる。さらに、PCMを縦に設置したことによりPCMが変形し、PCM間の空気の通り道が狭くなったことが確認されたため、PCMの設置方法についても検討が必要であることがわかった。

次に数値モデルを作成し、実験結果との整合性を検証した。モデルは前節で使用した実験装置のPCMの設置部分とし、そのモデルを10分割にして各空間内の空気温度を算出した。風量、空気とPCM間の熱

伝達率、PCMの質量をパラメーターとして解析を行った。図5は実験値と解析値の比較である風量が少ないケースを除いて実験値と解析値が概ね一致した。

③シミュレーションによる最適組み合わせの検討

作成したシミュレーションモデルを利用して、a. トロンブウォールの面積、b. PCMの融解温度、c. PCMの量、d. 地域をパラメーターにシミュレーションを実施した。表1は実験のパラメーターである。シミュレーションは、まず、総合建築環境解析ツールであるesp-rを利用して対象住宅(高断熱、高気密住宅を想定)の室温を計算し、その室温が日中、暖房設定温度以上にある時間をオーバーヒート時間帯と定義し、その時間の換気による温度上昇効果はカウントしないこととした(安全側)。図6は札幌における外気負荷削減量、図7は釧路における外気負荷削減量である。札幌、釧路に共通して、パネル面積が広く、PCMの量が多く、融解温度が低い方が外気負荷の削減量が多くなった。また、札幌と釧路の外気負荷削減量を比較すると釧路の方が冬期の日射量が多いため、約2倍の外気負荷削減量となることがわかった。

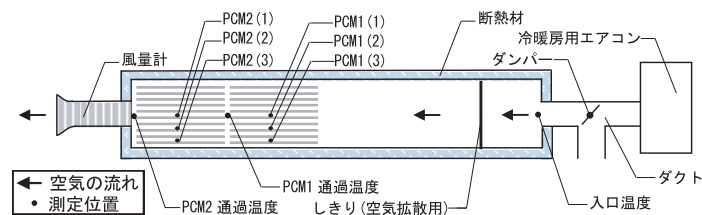


図3 実験装置の概要

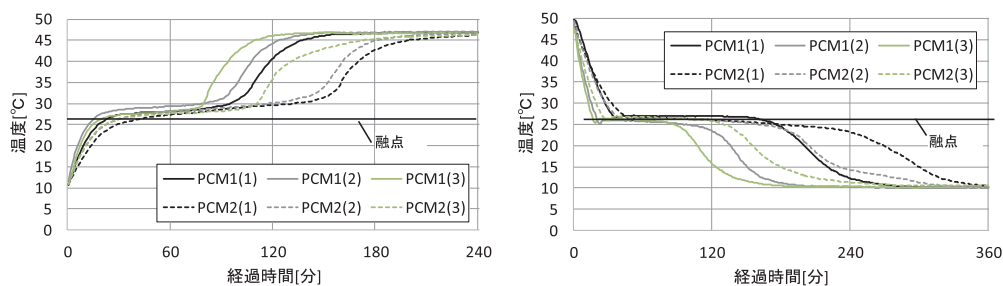


図4 融解過程と凝固過程の温度の推移

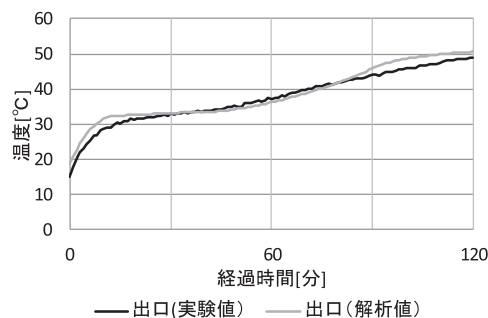


図5 シミュレーションモデルの検討

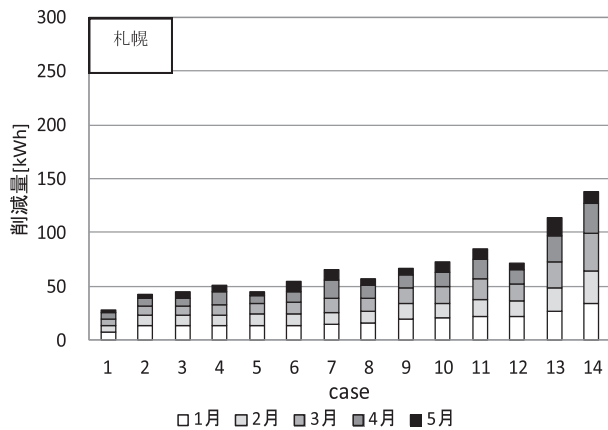


図6 札幌における外気負荷削減量

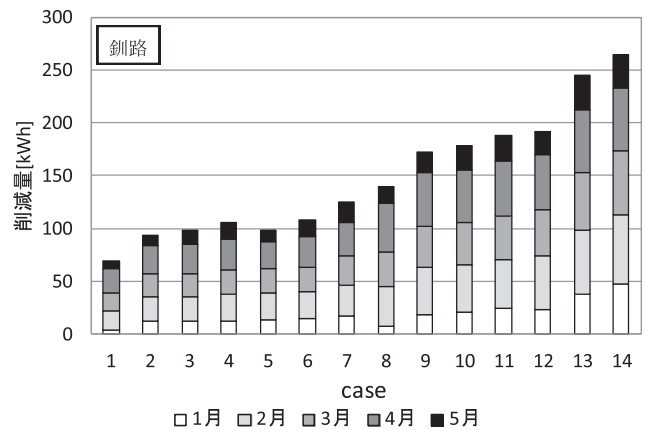


図7 釧路における外気負荷削減量

表1 シミュレーションのケース

| 太陽熱集熱器 | PCMの質量[kg] | PCMの融点[°C] | ケース名 |
|--------|------------|------------|--------|
| 1台 | PCMなし | | case1 |
| | 11.4 | 26 | case2 |
| | | 17 | case3 |
| | | 12 | case4 |
| | 34.2 | 26 | case5 |
| | | 17 | case6 |
| | | 12 | case7 |
| 2台 | PCMなし | | case8 |
| | 11.4 | 26 | case9 |
| | | 17 | case10 |
| | | 12 | case11 |
| | 34.2 | 26 | case12 |
| | | 17 | case13 |
| | | 12 | case14 |

今後の展望

トロンプウォールと PCM を組み合わせたシンプルなシステムによってオーバーヒート時間帯以外の外気負荷を最大で約30%削減することが可能であることがわかった。来年度以降はシミュレーションで得られた最適な組み合わせを実験住宅に設置して負荷削減効果を確認する予定である。また、現在のシステムではトロンプウォールによるコスト上昇を短期間で回収することが不可能であるため、熱源に風呂排湯排熱を加え、PCM凝固後、朝方までの間の加熱を行うシステムを検討する。