

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19686035

研究課題名（和文） ルーフポンドを用いた近赤外放射エネルギーの制御と有効利用

研究課題名（英文）

Effective Control Technique of Solar Energy by Roof Pond System

研究代表者

吉永 美香 (YOSHINAGA MIKA)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：70295624

研究成果の概要（和文）：

住宅建物の陸屋根上に水膜を形成し、夏期における最上階居室の暑熱環境を緩和させる手法について効果の検討を行った。H19年度に光透過型ルーフポンド（RP）試験体を用いた実測による熱収支分析を、H20年度に愛知県に実在するRC造集合住宅の最上階にある居室を対象に実験的検証を行った。いずれも高い屋根表面温度抑制効果が確認された。さらにRC造戸建住宅の屋根全体にRPを設置した場合の冷房熱負荷削減効果を計算により検証した。以上より、RPが効果的に冷房時熱環境を改善するとともに、冷房設備使用に伴うエネルギー消費量を抑制することが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

Roof Pond (RP) is decided as thin water layer on flat roof top that has a function of evaporative cooling in summer. RP has an advantage of controllability relative to the conventional cool roof techniques such as the high reflective paint etc. First, we measured and analyzed the heat balance of a glass RP model. Second, the verification test was led in 2009. We measured the thermal condition in two rooms in a RC residential building. Finally, simulated Load Reduction Rate (LRR) is about 25% for the RC house. The overall conclusion is that RP system is a simple and effective way to decrease the room temperature in summer and reduce the seasonal cooling load.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	7,100,000	2,130,000	9,230,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：

1. 研究開始当初の背景

本研究では、都市や建築物内部へ到達する

近赤外放射の制御システム「ルーフポンド」を提案し、空気調和熱負荷の低減効果及びヒートアイランド現象の緩和効果を得ることを目的とする。ここで提案するルーフポンドは、薄い水の層を備えた屋根、あるいは建物や公園などの施設全体を覆う水盤屋根のことを指す。

地球温暖化問題、化石エネルギー資源枯渇問題に端を発し、建物の空調熱負荷を削減する様々な技術が研究されている。さらに近年ではヒートアイランド問題の顕在化から、屋内のみならず屋外への熱溜まりを防ぐという視点も重要視されるようになり、従来の高断熱・高气密だけではなく、屋上緑化、保水性材料の利用、高反射性塗料の利用など様々な対策技術も登場している。

その一方で、夏期の暑熱環境対策技術のほぼすべてに共通した問題は、夏期の冷房負荷を削減する代わりに、冬期の暖房負荷を増大させる傾向がある点である。日射熱の取り込みを抑制し、冷房負荷を低減させることは、冬期の省エネには一般に不利であり、年間通じての屋内外の環境改善と省エネルギーに寄与することは難しい。即ち、年間あるいはライフサイクルで空調熱負荷を削減するには、日射の除去熱量を適切に「制御」できることが非常に重要である。

近年では明るい光環境を有し、開放感のある室内空間の要求が高まり、外皮の構成材料としてガラスを多用した建築物が急増している。このような、いわゆる「ガラス建築」ではペリメータゾーンはもとより、居住域全体の空調熱負荷が極めて大きくなる。結果として、空調用のエネルギー消費量が増大し、都市域に空調排熱を増加させ、ヒートアイランドを助長するという悪循環を及ぼしていると考えられる。またこの問題の一解決策として、しばしば採用される熱線反射ガラスや Low- ϵ ガラス等の遮熱機能を持つガラス材料では、夏期のみならず、冬期においても日射熱をささげるため、冬期の暖房熱負荷を増加させてしまうという矛盾がある。

2. 研究の目的

以上のような背景から、ガラス建築にも導入可能で、年間を通じて建物の空調負荷を削減し、かつヒートアイランド現象の緩和が期待できるパッシブ技術として、新しいルーフポンドシステムを提案する。そもそも、ルーフポンドという名称は、我が国ではあまり聞きなれないが、1970年代のオイルショック時代に欧米で提案されたシステムとして知られている。当時は、屋根上に配置した水タンクに日射熱を蓄熱し、夜間には断熱性のある覆いをすることで屋根から最上階居室への熱伝導により放熱し、暖房効果を得るという一種のソーラーハウスであった。ここで提

案するルーフポンドとは、我が国の主として冷房熱負荷を低減するための機能を有する、かつてのルーフポンドとは異なるパッシブクーリングシステムである。

ここで提案するルーフポンドシステムは、可視光を透過し赤外線を吸収するという水の物理的性質を生かし、日射の赤外放射熱をルーフポンドに吸収させ、それを蒸発潜熱により外界に放出するという機能を期待している。最近の約10余年に亘り注目を浴びてきた屋上緑化システムと類似する屋根設置型のパッシブ手法であるが、屋上緑化システムは設計にもよるが蒸発効率0.3~0.7程度の蒸発潜熱機能を有するといわれているのに対し、ルーフポンドシステムは水面を外界に開放することで必ず蒸発効率=1を維持することができる。

3. 研究の方法

(1) 光透過型ルーフポンドの実験

まず平成19年度に、水膜の日射吸収及び透過特性について正確に把握することを目的とし、ガラス建築への採用を想定した光透過型ルーフポンドを対象に、ルーフポンド試験体を作成し屋外実験を行った。

(2) 実在する集合住宅への導入試験

さらに平成20年度には、RC造建築物への採用を想定した光非透過型ルーフポンドの試験体を作成し、実在する集合住宅の屋上の一部へ仮設し、その効果を実証した。

(3) シミュレーションによる効果予測

つづいて平成21年度には、コンピュータシミュレーションを行い、RC造戸建住宅へ導入した際の空調熱負荷削減効果を汎用動的シミュレーションツール TRNSYS に、新たなルーフポンド計算モデルを開発し、連成させることで推定を可能にした。シミュレーションによる検討ではさらに、次世代省エネ基準の住宅と、無断熱住宅との両住宅に対し、ルーフポンドシステム採用による夏期冷房熱負荷削減効果を試算した。

(4) 太陽放射の分光特性の把握

本研究期間に亘って、太陽エネルギーの特性を把握するために、分光放射及び日射量の長期間計測を行い、気象条件の変化が太陽放射にどのような影響をもたらすかについて分析を行っているが、導入した分光放射計の出力精度に問題があることが平成21年度に開発メーカーからの謝罪により明らかとなったため、本報告では定量的な報告は割愛する。

4. 研究成果

(1) 光透過型ルーフポンドの実験

光透過型ルーフポンド試験体を用いた実測による熱収支分析を行い、以下の知見を得た。ルーフポンド試験体のガラスと水膜によ

り、全日射透過は最大約 50% 遮蔽され、その影響でルーフポンド試験体の直下の屋根表面温度は、最大で約 5°C 低下した。さらに、水膜厚さによる日射透過率への影響を分析した結果、水厚よりも水膜の有無が大きく影響していることがわかった。換言すると、屋根加重を過度に大きくしなくても 1~3cm 程度の厚さの水膜があれば、ルーフポンドシステムとしての機能は十分期待できるといえ、構造的な負担を最小限に抑え、熱貫流を効果的に抑制させることが可能であることがわかった。

(2) 実在する集合住宅への導入試験

続いて実在する RC 造集合住宅の最上階にある居室を対象に、居室の天井部分を約半分覆う程度のルーフポンド試験体を設け、室内温熱環境へ与える影響を実験的に検証した。

夏期快晴時の 14:00 頃において、ルーフポンドがない居室の屋根表面温度が約 53°C であるのに対し、ルーフポンドがある場合には約 35°C と約 18°C の屋根表面温度抑制効果が確認できた。また、居室内の 2425mm (天井表面)、2125mm、1825mm、1225mm、625mm、及び 0mm (床表面) の各点における温度を比較すると、代表三日間のいずれの高さにおいても、常にルーフポンドありの居室の方が 1~10°C 程度低く保たれた。日中において、ルーフポンドがない居室は鉛直方向に高い点ほど温度が高くなり、天井面が最高温度となるのに対し、ルーフポンドがある場合は天井より 600mm 下方の 1825mm 点ももっとも高温で、これより天井に向かっての低い位置では温度は低下した。すなわち、屋根 (天井) が居室のヒートシンクとして機能することがわかった。ルーフポンドに夜間も水を蓄えておけば、夜間も蒸発による冷却効果が得られ、スラブの蓄熱を抑え、天井近辺の高い点における室温が、ルーフポンドなしの場合に比較して 4°C 程度低く維持されることが確認できた。

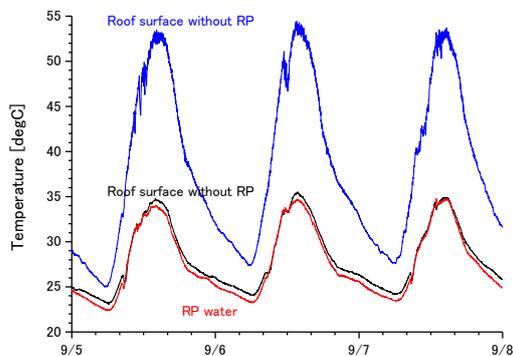


図 1 ルーフポンドによる屋根表面温度抑制

効果 (実験結果)

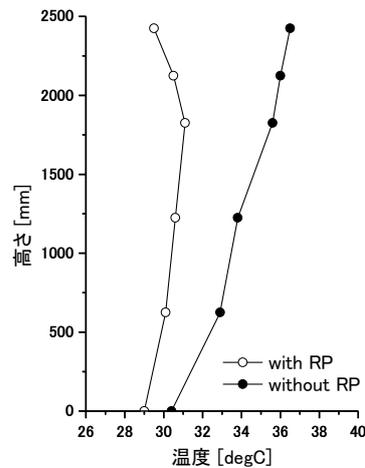


図 2 ルーフポンドによる居室鉛直温度分布の影響 (実験結果)

(3) シミュレーションによる効果予測

RC 造戸建住宅の屋根全体にルーフポンドを設置した場合の冷房熱負荷削減効果を TRNSYS を用いたコンピュータシミュレーションにより検証した。対象建物は日本建築学会の標準住宅モデル (RC 造) とし、気象データには LESCOM の名古屋標準データを利用した。空調条件は台所を除く主要な居室すべてにおいて全館冷房 28°C とした。

ルーフポンドが終日機能する、即ち夜間においても水がある、と仮定した場合の冷房熱負荷削減率は、無断熱住宅ケースの場合で約 25.4%、また 50mm 断熱ケースにおいて約 11.46% と高い効果が確認できた。

同じく、50mm 断熱ケースにおいて、非空調であった場合の PMV に着目すると、7~8 月におよそ 0.2~0.5 程度の PMV 低減効果があると推定された。ルーフポンドの利用時間 (水がある時間) を 4 時間と制限し、① 6:00~10:00、② 10:00~14:00、③ 14:00~18:00 の 3 パターンの利用時間とした場合の効果を検討した。全館の LRR は、①は 2.1%、②は約 4.9%、③は 3.6% であった。10:00~14:00 にのみ利用した場合は、終日利用に対し 1/6 の利用時間でおおよそ半分弱の効果が得られることが確認できた。

ルーフポンドによる冷却効果は必ずしも最上階だけに及ぶものではなく、1 階の冷房負荷削減効果も認められた。これは第三章の鉛直方向温度分布からも示されているが、最上階天井表面温度が下がることで、最上階室内の内壁表面の相互放射から、効果が最上階居室床を通じて下層階の天井面温度を下げ

たことが、シミュレーションにより再確認されたといえる。

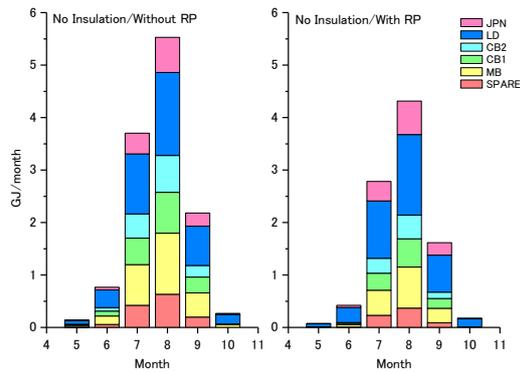


図3 無断熱 RC 住宅におけるルーフポンドの有無による月毎の冷房負荷比較 (計算結果)

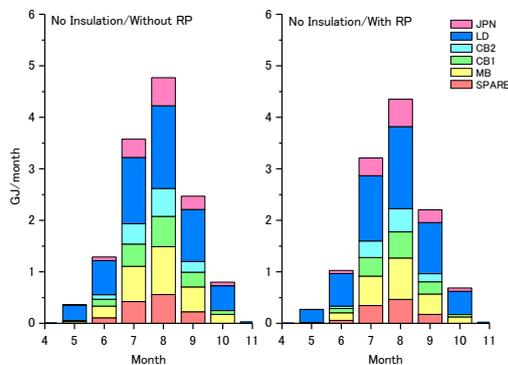


図4 50mm断熱 RC 住宅におけるルーフポンドの有無による月毎の冷房負荷比較 (計算結果)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計1件)

①吉永美香：ルーフポンドによる屋根貫流熱負荷低減効果の検証，名城大学総合研究所紀要第15号，2010年 (掲載決定) 査読なし

〔学会発表〕 (計5件)

①吉永美香：ルーフポンドによる屋根貫流熱負荷低減効果の検証，日本建築学会学術講演梗概集，(掲載決定) 2010年9月 (場所未定)

②吉永美香・大庭泰樹・小山智宏：光透過型ルーフポンドの熱収支特性—水膜厚さの影響分析—，空気調和衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集，pp.141～145，2009年3月15日，名古屋

③吉永美香：太陽放射の分光分布にもたらす黄砂の影響，日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会，太陽/風力エネルギー講演論文集，pp.541～544，

2008年11月7日，鳥取

④吉永美香・大庭泰樹・小山智宏：光透過型ルーフポンドにおける長短波放射の吸収・透過特性，日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会，太陽/風力エネルギー講演論文集，pp.521～524，2008年11月7日，鳥取

⑤吉永美香：実測及び気象台データを利用した冬期快晴時及び曇天時における太陽分光放射の分析，日本建築学会学術講演梗概集，D2，pp.39～40，2008年9月20日，広島

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ra.meijo-u.ac.jp/labs/ra001/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉永 美香 (YOSHINAGA MIKA)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：70295624