

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420619

研究課題名(和文) 既製ドラム缶を活用した太陽熱・雨水・地中熱による自然冷暖房システムの開発

研究課題名(英文) A STUDY ON HEATING AND COOLING SYSTEM WITH SOLAR HEAT, RAINWATER AND UNDERGROUND HEAT WITH READY-MADE DRUMS

研究代表者

市川 尚紀 (ICHIKAWA, Takanori)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：50441085

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、わが国の一般的な木造住宅に採用可能な太陽熱、雨水、地中熱による自然冷暖房システムの開発を行うものである。特に、雨水を地下に貯めて地中熱を蓄える装置として、既製品のドラム缶を連結した独自のシステムの有効性を確認することが本研究の特徴である。研究では、実物大の木造実験住宅を用いて、太陽熱で温めた雨水による暖房と、地中熱で冷やした雨水による冷房の実験を行い、夏と冬の冷暖房実験を実施した。この時、タンク切り替え自動制御盤の修理とバルブの調整などを行った。その結果、真夏日であっても、このシステムで継続冷房することができることがわかった。冬は暖房可能な時期について把握することができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is development a natural air-conditioning system by solar heat, rainwater and underground heat which a wooden house can adopt in Japan. The characteristic of this study is confirmation the effectiveness of this original system which rainwater save underground heat with ready-made drums. I tested an air conditioner by the rainwater which I cooled by underground heat and warmed by solar heat with a wooden experimental house in summer and winter. I repaired facilities if this system then. As a result, I understood that this system could cool rooms even if it was daytime in midsummer. I was able to grasp it about the time that could heat rooms in winter.

研究分野：建築環境設計

キーワード：自然エネルギー 冷暖房 木造住宅 雨水 太陽熱 地中熱 既製ドラム缶

1. 研究開始当初の背景

近年、建物運用時の二酸化炭素排出量を削減することが求められる中、経済産業省資源エネルギー庁のエネルギー白書によると、民生部門の消費エネルギーは今も増加の一途をたどっているという。そうしたことから、建物の気密性や断熱性の向上に加え、太陽熱や地中熱、風力といった自然エネルギーを有効に利用する省エネルギー技術の普及が重要視されている。そこで著者らは、太陽熱と地中熱に加え、わが国独特の気候要素の「雨水」も使えないかと考えて、建物に降った「雨水」を貯めて、冬は太陽熱で温め、夏は地中熱で冷やして室内環境を調節する新たな自然冷暖房システムの開発を行っている。

このシステムの冷房時に必要な熱源は地中熱であるが、地中熱利用については既に様々な技術が開発されている。具体的には垂直型と水平型があり、垂直型には、総長 100~150m のボーリング孔を利用するボアホール方式や、建物の基礎杭 (5~30m 程度) を利用する杭方式があり、水平型には、浅層 (1.0~2.5m) の地中にチューブを埋設する方式がある。また、埋設したチューブに空気を循環させるタイプと水を循環させるタイプがある。本システムは垂直型の水循環タイプであるが、浅層のボーリング穴に雨水で浸した既製品のドラム缶 (以下、雨水タンクと呼ぶ) を埋設し、その冷熱を利用する点で他のシステムとは異なる。原理的には、配管を閉鎖系にして水道水を利用することも考えられるが、雨水は庭や屋根の散水または中水として利用される程度で、これまで室内の冷暖房には直接使われることはなかったため、雨水利用装置と本システムを併用できれば、自然エネルギー利用のためのイニシャルコストを低減でき、なおかつ、都市型洪水抑制、地下水涵養、その他様々な雨水利用による波及効果を期待できると考えている。なお、水の比熱はコンクリートの約 5 倍 (熱容量は約 2 倍) もあり、熱を蓄えるには最も適した物質である。

2. 研究の目的

これまで考案したシステムを実物大の木造実験住宅に設置し、その冷暖房効果の実証実験を行ってきた。その内容は以下のとおりである。まず、冬に雨水を太陽熱温水器によって温め、夏は地中熱によって冷やし、それを床冷暖房配管に流した時の効果について報告した。次に、熱交換器をファンコイルユニット (以下、FCU と呼ぶ) に変更し、また雨水タンクを増設、さらに室温や水温を感知してシステムの稼働を自動制御できるように改良して実験を行った。その夏の冷房実験結果では、実験住宅 1 階の 9 畳の部屋の室温を 24~29、PMV 値は ±1.0 の範囲内に、実験期間の 6 日間維持することができ、その冷房能力にまだ余力があることも確認した。そこで、まず FCU をこの木造実験住宅 2 階の 9 畳の部屋にも設置し、同じシステムを

用いて、2 室計 18 畳の室内空間の冷暖房実験を行う。また、現在の木造実験住宅を用いた実験研究では、住宅の構造材料を変更できないため、設備の運転条件などを変更するなどのシステムの改良しかできなかったため、熱計算ソフト (TRNSYS) を使い、建物側の構造材料を変数に加えて、コンピュータ解析を中心に行う。まずは、夏の冷房時期、昼間に建物内部・躯体に蓄積された熱を、夜間の気温が低い時間帯に換気を行う「ナイトパージ」によって冷房負荷を軽減する手法について解析を行った。解析対象の住宅形態は、本キャンパスにある木造実験住宅をモデルとし、木造、RC 造、木造+RC 壁の 3 タイプの建築構造材料を想定した。

本報告では、18 畳の室内空間の冷房実験を行った結果について考察し、雨水を地中に貯める既製ドラム缶を利用した雨水タンクの持続性についても検証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実験住宅概要

この研究に用いる木造実験住宅は、広島県東広島市の近畿大学工学部キャンパス内に建てられている。設計は著者らが行い、建物本体は 2008 年 1 月に竣工し、その後、システムの改良を続けながら実験を行い現在に至る。建物は木造在来構法の総 2 階建てで、実験を行う部屋は建物西側の 1 階及び 2 階の部屋 (9 畳×2 部屋) である。この建物の仕様を図 1 に示す。

(2) システム概要

本システムの系統図を図 2 に示す。このシステムを構成する装置は次のとおりである。まず、屋根に降った雨水の初期降雨は大気中の埃が混ざるために、これを排除するための雨水分流器 (a) を縦樋下部に設置した。この雨水を、建物の基礎を利用したコンクリート造の雨水貯留槽 (b) (約 4 トン) に貯留する。そして、この雨水を雨水タンク (d) へオーバーフローさせ地中熱で冷やす。この雨水タンクは、スチール製の既製ドラム缶 (600 × 900h) を溶接によって縦に連結したものである。雨水タンクは 4 基埋設されており、その長さは 5.4m (ドラム缶 600 × 900h × 6 缶、深さ 5.2m) である (以下、雨水タンク 1~4 と呼ぶ)。そして、この雨水を実験室内の FCU (f) に循環させるシステムとなっている。今回は FCU を実験住宅 2 階の 9 畳の部屋にも増設し、その配管は 1 階の FCU とは並列式とした。これにより、2 台の FCU を個別に稼働・非稼働の操作ができる。その他の仕様は図 2 のとおりである。

さらに本システムでは、雨水タンク内の水温が一定温度まで上がると、自動的に次の雨水タンクへ切り替えられるように制御盤を設け (e)、また実験室の室温が一定温度以下になるとポンプが停止、一定温度以上になる

とポンプが再稼働するように電磁弁が設けられている。

(3) 実験方法

本実験の実測条件を表1に、測定項目と使用機器を表2に、測定点の位置を図1に示す。実測内容は以下のとおりである。

地中温度・水温の測定：地中温度は、既報の実験時に地中に埋設した熱電対を用いてG.L.-1m、-2m、-3m、-4mの地中温度を測定する(図1)。本実験では、この熱電対近くのタンクを使用しないため、雨水タンク内の水温による地中温度への影響はないと考え

る。また、雨水タンク4基すべての雨水採取レベル(G.L.-5m)の水温も測定する(図2)。そして、この水温が25を超えると、使用する雨水タンクが自動的に切り替わるように設定した。

外気温：外気温は直射日光が当たらず、風通しの良い実験住宅2階バルコニーの軒下で測定する。

室温・PMVの測定：室温の測定点は、図1のように、床に座った時の顔の高さであるF.L.+700mmと、椅子に座った時の顔の高さであるF.L.+1200mmの2種類の高さ、計6地点/室で測定する。また、室内中央の測定点ではPMV値(met値1.0, clo値0.5に設定)も同時に測定する。なお、実験2では、室内中央の温度が25を下回るとシステムが停止し、29を超えるとシステムが稼働するように設定した。

上記いずれもの測定も実験開始日の9:00から終了日の18:00まで、5分間隔でデータロガーに記録することにした。また、この実測実験期間中は人の出入りはしないものとし、床下換気孔も閉じた。さらに、実験室の西窓から測定用の熱電対に直射光があたる可能性が高いため、西窓面を断熱材でふさいだ(図1)。なお、南北の窓だけでも居室に必要な採光面積は確保できている。

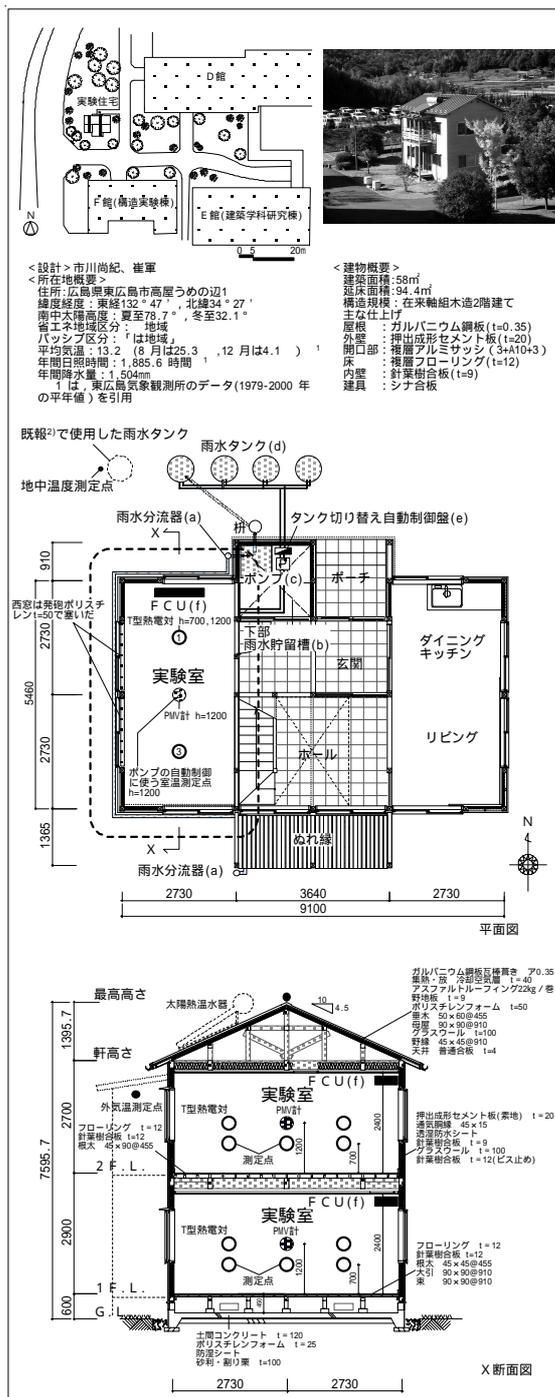


図1 実験住宅概要

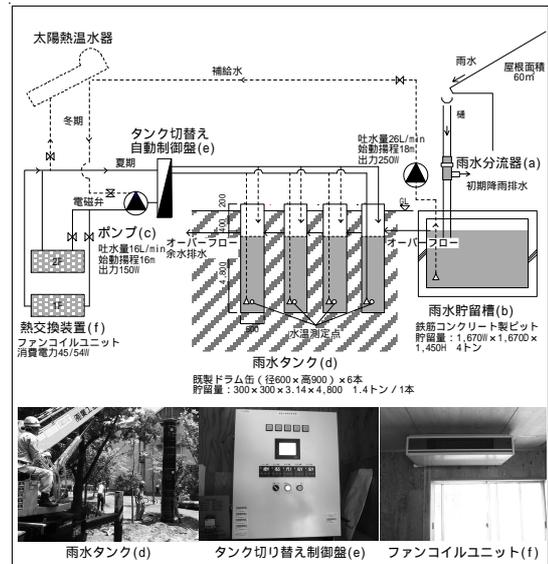


図2 自然冷房システム図

表1 実測条件

実験No	FCU	室温設定	タンク切替え設定水温	日程(3)
1		非稼働		2014.8.13-18
2	稼働	25 弁閉 29 弁開 (1)	25 (2)	2014.8.4-8.9 2014.8.21-26 2014.9.2-9.7

- 既報⁽³⁾では 24 弁閉, 28 弁開としたが, PMV値がやや低かったため 1 高く設定した。
- 既報⁽³⁾では 25 としたが, 実際には21 で切り替わったため, 今回は制御装置の設定を29 にして, 作動誤差を調整した。
- 実験2(稼働)の後, 地中熱で水温を冷やすため, 実験1(非稼働)を実施し, 再び実験2を実施する日程とした。記録時間は実験開始日の9:00~実験終了日の18:00とした。

表 2 測定項目と使用機器

項目	測定点	使用機器
1 地中温度	G.L.-1m, 2m, 3m, 4m	T型熱電対(0.32mm)+データロガー
2 水温	4基のタンク内のGL-5m	T型熱電対(0.32mm)+データロガー
3 外気温	実験住宅2階バルコニー軒下	データロガー付温湿度計測器
4 室温	実験室内の5点/室 h=700と1200	T型熱電対(0.32mm)+データロガー
5 PMV・湿度・放射温度	実験室内の中央1点/室 h=1200	PMV計(1.0met, 0.5cloに設定)

4. 研究成果

本報告では、実物大の木造実験住宅を用いた地中熱による自然冷房システムの実験を行い、その冷房効果を確認した。そして、既製ドラム缶によって製作した雨水タンクの持続性について考察した。その研究成果を以下にまとめる。

(1)このシステムで、実験初日から最終日の5日半を 24 ~ 30.5 の室温で、PMV 値も -2.0 ~ +1.5 に維持することができることがわかった(図3)。

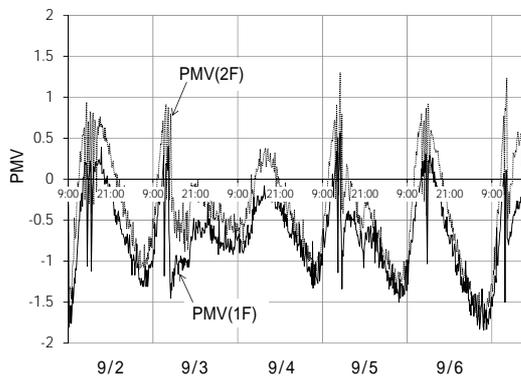


図 3 実験 2 における PMV 値
(2014.9.2-9.7)

(2)雨水タンク(深さ 5.2m, 容量約 1.4 トン)の雨水は 25 に上昇するまで使い、その後地中熱で冷却する場合、約 3 日半で使用前の水温まで冷却されることがわかった。また、雨水タンクは 30 を超える真夏日に使用すると、約 1 日半継続して使用することができる(図4)。

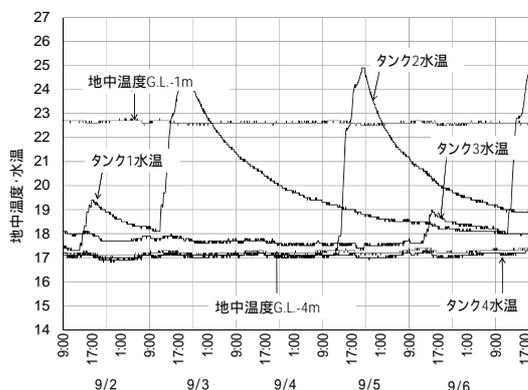


図 4 実験 2 における水温・地中温度
(2014.9.2-9.7)

(3)上記の実験条件の場合、この雨水タンクが合計 4 本あれば 18 畳の部屋を継続冷房することが可能であることがわかった。また、システムが稼働する設定室温を上げるなどの調整をすることで、雨水タンク 3 本でも継続冷房が可能になるとと思われる(図5)。

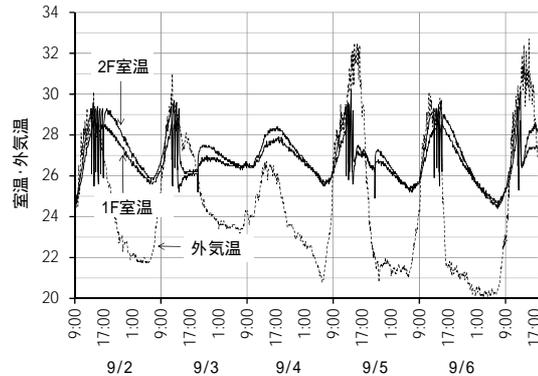


図 5 実験 2 における室温・外気温
(2014.9.2-9.7)

(4)冬の暖房実験では十分な暖房効果を得ることができなかったが、暖房可能な外気温について把握することができた。

(5)熱計算ソフト(TRNSYS)を使い、建物側の構造材料を変数に加えて、コンピュータ解析を中心に行った結果、木造+RC壁の場合は、木造と比べて約 3 割の冷房負荷の軽減が可能であることが分かった。

なお、これまでの実験の結果、雨水タンクの冷熱を直接冷房に利用する方式で、住宅のリビング程度の広さの部屋を冷房することが可能であることがわかったが、このシステムは、一般的な家庭用空調機に比べると初期費用が高く、また複数のタンクを設置するための広いスペースが必要になる欠点がある。そこで今後は、この雨水タンクとヒートポンプシステムを組み合わせることで、小スペースにも設置可能で、なおかつ暖房にも利用可能な安価なシステムを考案し、その検証実験を行う予定である。

<引用文献>

経済産業省・資源エネルギー庁：エネルギー白書 2015

市川尚紀，崔軍：木造実験住宅を用いた太陽熱・雨水・地中熱による床冷暖房システムに関する研究，日本建築学会技術報告集，第 17 巻，第 35 号(2011-2)，pp.227-232

市川尚紀，崔軍：既製ドラム缶を用いた雨水と地中熱による自然冷房の実験研究，日本建築学会技術報告集，第 20 巻，第 46 号(2014-10)，pp.1035-1040

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)

市川尚紀, 崔軍: 既成ドラム缶を利用した地中熱自然冷暖房システムにおける雨水タンクの持続性の検証実験, 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, Vol.8, 印刷中(2017)

[学会発表](計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 尚紀 (ICHIKAWA, Takanori)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号: 50441085

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

崔 軍 (CUI, Jun)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号: 90320340

(4) 研究協力者

()