

**地中熱利用エネルギーシステムのIoT化に関する研究  
- 温度, 不凍液流量, 電力量を計測するIoTシステムの動作検証 -**

**Study on IoT for ground source heat pump system.  
- Verification of IoT system for measurement of  
temperature, brine volumetric flow and electric power -**

○三村啓智\*, 武藤伸洋\*, 柿崎隆夫\*, 小熊正人\*

○ Keichi Mimura\*, Shin-yo Muto\*, Takao Kakizaki\*, Oguma Masahito\*

\*日本大学工学部

\*College of Engineering, Nihon University

キーワード : IoT (Internet of Things), 地中熱利用システム (ground source heat pump system),  
データロガー (data logger), PLC(programmable logic controller)

連絡先 : 〒 963-1165 福島県郡山市田村町徳定中河原 1  
日本大学 工学部 機械工学科 サステナブルシステムズデザイン研究室  
三村啓智, Tel.: (024)956-8775, E-mail: keichi.mimura.ss.lab@gmail.com

## 1. はじめに

世界的なエネルギー需要の増大や日本における度重なる震災の影響から, 災害に強い地域コミュニティ創成のため, 自然共生可能な再生可能エネルギーを活用した地域のエネルギー自立が求められている。福島県においても, 再生可能エネルギーの活用を推進しており, 県内エネルギー需要の 100%相当量を再生可能エネルギーで生み出すことを目標としている<sup>1)</sup>。これに際し, 持続可能な自然共生住環境エネルギーシステムの一部として地中熱を利用したエネルギーシステムが研究されている<sup>2)</sup>。このシステムは地下 0-20 m 程度の比較的浅層域の恒温層土壌を熱源としてヒートポンプを稼働させることで, 冷暖房, 給湯といった各種熱利用サービスの提供が可能となるシステムであり, エアコンに代

表される地上の空気を熱源とした熱利用システムが苦手な極端な高・低温において効率的に熱利用が可能とされている<sup>3)</sup>。現在までに地中熱利用エネルギーシステムの一般住宅への普及を目指し全国数か所の試験場でシステムの検証が行われている。

Fig. 1 に地中熱利用エネルギーシステム IoT化のコンセプト図を示す。本研究では, 地中熱の研究推進と研究設備の保守の効率化を目的として, 地中熱利用エネルギーシステムのIoT化を提案している。地中熱利用エネルギーシステムに設備状態把握のため設置された計測端末にPCを接続することで計測データを取り出し, ネットワークを介して拠点のデータベースサーバにデータを保存, 蓄積することで各試験場の計測データの一括管理の実現を目的としている。現

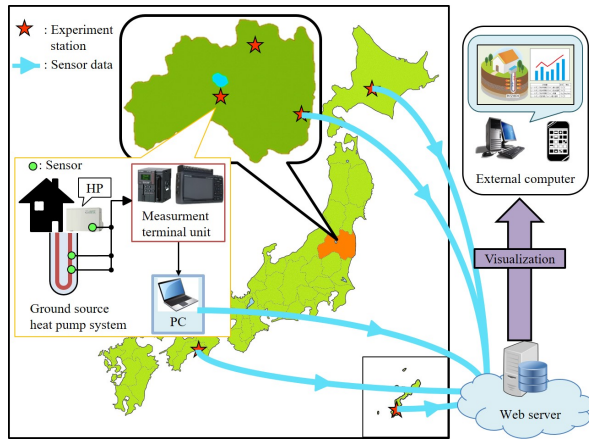


Fig. 1 地中熱利用エネルギーシステム IoT 化のコンセプト. Concept of the introduction of the IoT system to the ground source HP system

在までに、基礎システムとして、データロガーと PLC, PC を使用したデータの取り出しとサーバへの送信を行うデータ送信プログラムの作成および、各種データを蓄積とその閲覧が可能なネットワークサーバを構築した。

本稿では、構築したシステムを利用し、屋内外の温度データの蓄積に関する動作を検証するとともに、暖房の運用時間、人の入退室と関連させたデータの見える化について検討した結果を報告する。

## 2. IoT システム

Fig.2 に IoT システムの構成を示す。本システムは地中熱利用エネルギーシステムに設置された計測端末とデータ送信用の PC, およびネットワークサーバにより構成されている。PC 上でデータ送信プログラムを動作させることで計測端末から各種センサの計測データを取り出し、サーバに計測データを送信する。サーバでは受信した計測データを統合、処理しリクエストに応じた情報の提示を可能としている。

今回のシステム構築には、試験場で実際に使用している計測端末と同様の機器である GRAPH-TEC 社製のデータロガー (GL840) と、ヒ-

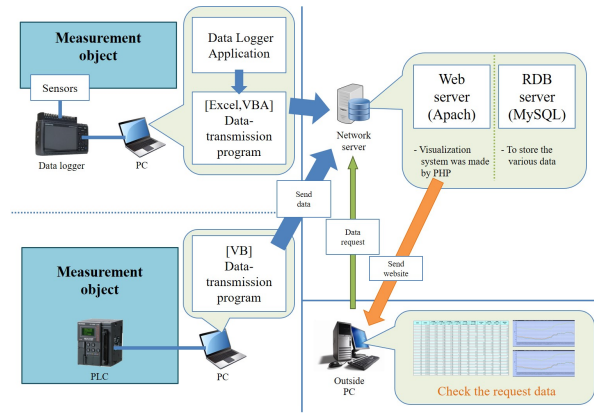


Fig. 2 IoT システムの構成. Schematic of the IoT system.

トポンプ制御等で利用されている KEYENCE 社製の PLC (KV-3000) を使用したほか、データ送信用 PC として MOUSE 社製小型ボックス PC (MousePro-C100PV) を、サーバ PC として DELL 社製のデスクトップ PC (DELL Precision Tower 5810) を使用している。

### 2.1 データ送信プログラム

データ送信プログラムは、計測端末から計測データを一定時間ごとに抽出するデータ抽出部と、データをサーバに送信するデータ送信部から構成されている。データ抽出部は、計測端末毎に計測データの取り扱いが異なるため、データロガーと PLC の端末別に送信プログラムを 2 種類作成した。各データ送信プログラムにより、抽出した計測データをネットワークを介し、研究室に設置されたネットワークサーバへ送信する。現状では、データロガーを利用したプログラムでは温度 4 点、流量 2 点、電力量 4 点の計測データ送信が可能である。また、データロガーを利用したプログラムは送信するデータを一時的に記録する仕様のため、データが送信できない場合にその時のデータを保持しておくリカバリ機能を搭載している。PLC を利用したプログラムでは温度 4 点のみのデータ送信を実現しており、リカバリ機能は実装していない。

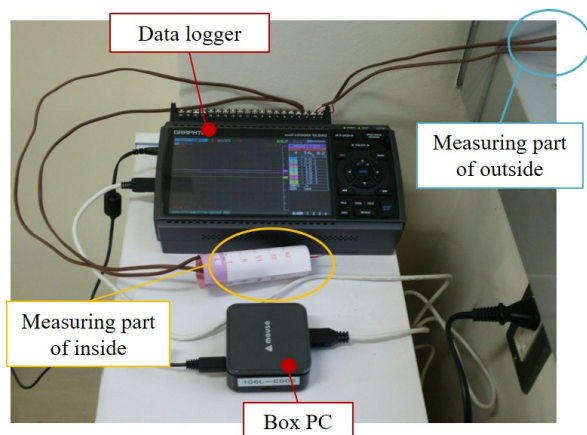


Fig. 3 データロガーを使用した計測装置.  
Measuring device using the data logger.

## 2.2 ネットワークサーバ

ネットワークサーバは、送信された計測データを蓄積する RDB サーバ、データを表やグラフ形式で閲覧可能にする WEB サーバより構成されている。

## 3. 温度計測実験

IoT システムの動作検証のため、各計測端末による温度データの取得実験を行った。実験では各計測端末に 4 つの熱電対を取り付け、屋内の温度と屋外の温度を連続で計測し、同時にマニュアルで部屋の解錠、施錠の時刻や、暖房を使用した時間等を記録した。この時屋外は各部屋の窓の外、外気温を計測している。

### 3.1 データロガーを使用した計測実験

Fig. 3 にデータロガーを用いた計測装置を示す。計測装置は計測端末であるデータロガーと計測用のセンサ、ロガー用の送信プログラムを入れたボックス PC から構成される。実験にあたり、データロガーを使用する計測実験には日本大学工学部 15 号館 106 号室を使用した。106 号室は人の出入りが多い部屋である。今回は窓際にこれら装置を設置した。この時、暖房として

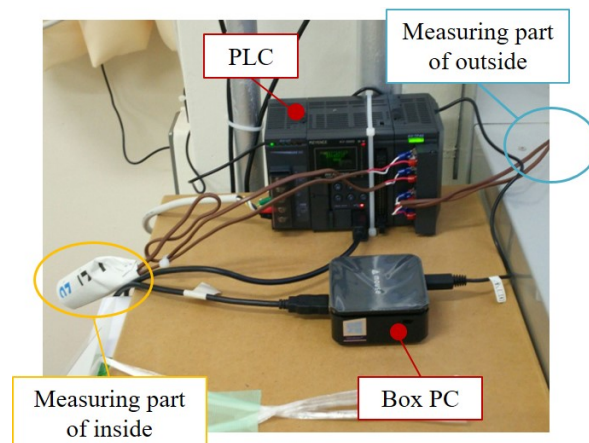


Fig. 4 PLC を使用した計測装置. Measuring device using the PLC.

大学側で電源を操作するスチームヒーターと任意に使用することのできる灯油式の石油ストーブを使用している。実験期間は 11 月 17 日（金）の 0 時から 11 月 22 日（水）の 23 時 59 分までの 6 日間で温度を屋内 2 点、屋外 2 点の計 4 点を 10 分ごとに計測した。データ送信プログラムでは屋内外の温度 4 点以外の計測においてはダメーデータを送信するよう調整を加えた。

### 3.2 PLC を使用した計測実験

Fig. 4 に PLC を用いた計測装置を示す。計測装置は計測端末である PLC と計測用のセンサ、PLC 用の送信プログラムを入れたボックス PC から構成される。実験にあたり、データロガーを使用する計測実験には同大学の 15 号館 107 号室を使用した。107 号室は人の出入りが比較的少なく 106 号室の半分程度の広さの部屋である。実験ではスチームヒーター近くの窓際にこれら装置を設置した。実験の期間は 11 月 17 日（金）の 0 時から 11 月 22 日（水）の 23 時 59 分までの 6 日間で温度を屋内 2 点、屋外 2 点の計 4 点を 10 分ごとに計測した。

Table 1 106号室解錠と施錠の時刻. Unlock and lock time of room106.

date	open	close
Fri,Nov,17	10:00	17:00
Sat,Nov,18	9:30	19:00
Sun,Nov,19	-	-
Mon,Nov,20	10:30	19:00
Tue,Nov,21	11:30	20:30
Wed,Nov,22	9:35	22:00

Table 2 107号室解錠と施錠の時刻. Unlock and lock time of room107.

date	open	close
Fri,Nov,17	12:30	17:00
Sat,Nov,18	-	-
Sun,Nov,19	-	-
Mon,Nov,20	14:30	15:30
Tue,Nov,21	16:15	18:50
Wed,Nov,22	14:50	16:00

#### 4. 実験結果と考察

今回一部屋に対し屋内外の温度4点を1セットとして10分ごとに計測したため、1日に144セット、6日間で864セットの温度データがサーバへ送信されることとなる。しかしながら、11月18日(土)の午前1時頃にネットワークサーバが意図せぬ再起動により停止してしまっただため、同日12時30分頃の復旧まで一部計測データが失われてしまうこととなった。以上より各計測実験の計測データ総セット数は、データロガーを使用した計測では864セット、PLCを利用した計測では796セットとなった。データロガーについては送信プログラムに計測データのログが残る仕組みであったため、サーバ復旧時に手作業でログから計測データを送信しなおすことでサーバ停止時の計測データを復元することができた。このため、人の操作が途中で入ることとなったが予定していた全計測データをサーバに蓄積することができた。PLCでは送信プログラムにログを残す仕組みがなかったため68セット、約11時間分のデータをサーバに保存することができなかった。サーバ停止時以外に各計測においてデータの欠損はなかった。

次に得られた計測データと各部屋の使用状況、暖房の使用状況を確認した。Table 1に106号室の解錠と施錠の時刻を、Table 2に107号室の解錠と施錠の時刻を示す。実験に使用した両部屋においては解錠から施錠までは人が滞在しており、石油ストーブを使用していた。時間の

Table 3 スチームヒーターの稼働時間. Operating time of steam heater.

Operating time of steam heater
8:00~9:20
9:50~10:40
11:10~12:00
12:40~13:40
14:10~15:00
15:30~16:20
16:50~17:40

記録されていない日は部屋は使用されていない。Table 3にスチームヒーターの稼働時間を示す。スチームヒーターは平日のみ稼働するため、土曜と日曜は稼働していない。また、稼働時間は目安であり、その時の気温と操作者の判断で電源が投入される。今回の実験において、スチームヒーターの操作には著者らは関わっていない。Fig. 5にデータロガーとPLCで計測された各部屋の温度のグラフを示す。各日付ごとに上のグラフが106号室の計測データ、下のグラフが107号室の計測データとなる。グラフは縦軸が温度、横軸が計測時刻であり、同様の屋内2点、屋外2点を計測した。また、スチームヒーターが稼働していた日についてはその稼働予定時間を枠で囲んでいる。

11月17日(金)のデータを見ると、106、107号室室内ではスチームヒーター稼働予定時刻と同時に大きく温度が上昇しているのが見て取れる。また、107号室の室内温度から5回スチー

ムヒーターが稼働したものと思われる。この日は平均の外気温が高かったためにヒーターを予定の7回でなく、5回に回数を減らして稼働させたものと思われる。両部屋の室外温度については、よく似た波形のデータを得られた。各部屋の使用状況からは温度への大きな影響は見られなかった。

11月18日(土)と11月19日(日)は休日のためスチームヒーターは稼働していない。18日(土)においては、106号室には少数の人員が長時間滞在していた。温度変化の大きな特徴は見取れないが、施錠した19時直後に温度が低下し始めているのがわかる。107号室については、サーバPCの停止のためPLCの計測データが一部欠損してしまい他のデータと比較ができなかった。19日(日)では、両部屋に滞在者はおらず、計測データは屋内外ともによく似た波形を示した。

11月20日(月)、21日(火)、22日(水)においてはともに、スチームヒーター稼働予定時刻の開始とともに大きく温度が上昇していることがわかる。またこの3日、特に21日(火)の107号室計測において7つの特徴的な山形の波形が表れており、スチームヒーターの稼働によって室内温度が大きく上昇していることがわかる。106号室についても、107号室のデータより顕著には表れていないがほぼ同様の時刻に温度が上昇していることが見て取れる。この3日間の外気温においてもそれぞれよく似た波形を示している。

20日(月)の106号室においては10時30分の解錠後に特徴的な波形は表れてはいるが、19時の施錠後には急激に温度が低下しているのがわかる。また、20日(月)の107号室においても滞在していた14時30分から15時30分の間で温度が特徴的に変化している。これは、滞在者によって換気が行われたために温度が一時的に低下したものと考えられる。21日(火)、22日(水)については各部屋の使用による特徴

的な温度変化は確認できなかった。

以上より各部屋の使用状況、特にスチームヒーターの稼働によって大きく室内温度が変化することがわかった。また、107号室に対し106号室の温度変化が緩やかなのは、106号室に人が長く滞在していたことと石油ストーブを使用していたことが影響していると考えられる。106号室では人と石油ストーブの熱量により温度が低下しにくくなっていたが、107号室は人の滞在時間が少なく、スチームヒーターが切れるごとに激しく温度が低下したものと推測した。

室外の計測においては十分に計測が行えなかった日以外は各部屋ほぼ同様の波形を得られた。全体で106号室の室外気温が107号室の室外気温より常に2℃程度高くなっているのは、計測端末および熱電対の器差や熱電対設置箇所により生じた系統誤差と考えられる。

今回の実験により、プログラムの一部改善が必要であるが、蓄積した屋内外の温度計測データと暖房の稼働時間、人の入退室とを関連させることで、計測データからの簡易な見える化が実現できたと考えられる。これを発展させることで、目的である地中熱利用エネルギーシステムのIoT化に必要なヒートポンプの稼働状態を、計測した温度や、その他設備の計測データから把握するのに十分な機能を具備可能であるとの見通しを得た。

## 5. おわりに

本研究では、地中熱利用エネルギーシステムのIoT化に際し、構築したIoTシステムの動作検証のため、屋内外の温度計測実験について報告した。今回の計測実験により以下の知見を得た。

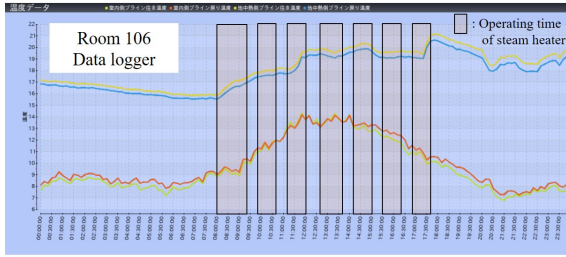
- 本システムは仕様上ではデータの欠損なく計測データをサーバに送信できることを確認した。

- 意図せぬネットワークサーバの停止等に対してプログラム側でデータを保護する機能が必要であることが確認できた。
- 屋内外の温度データを蓄積し、暖房の運転時間、人の入退室と関連されたデータの見える化が可能であることを示した。

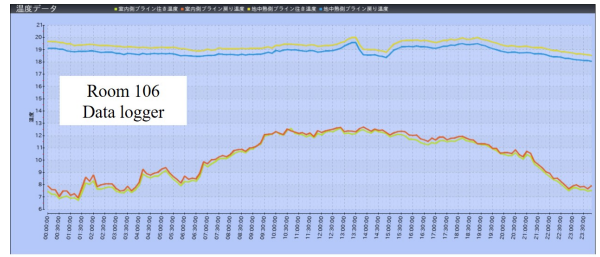
屋内外温度計測データの蓄積による見える化の実現により、実際の地中熱利用システムの設備状態の把握にIoTシステムが利用できるとの見通しを得た。今後の展望としては、地中熱利用エネルギーシステムへの本システムの導入および、得られた計測データの利用による、より詳細な閲覧システムの構築やデータマイニング、機械学習、AIの手法を用いた地中熱研究への貢献を目指す。

## 参考文献

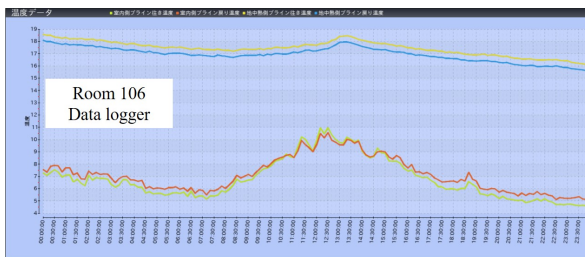
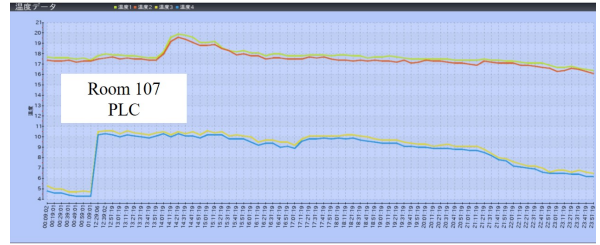
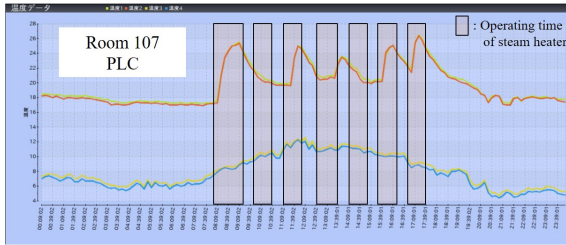
- 1) 福島県エネルギー課: 再生可能エネルギーさきがけの地アクションプラン (第2期) (2016)
- 2) 小熊正人: 一般住宅向け地中熱利用システムとその設計手法, 福島大学 地域創造支援センター (2016)
- 3) 北海道大学 地中熱利用システム工学講座: 地中熱ヒートポンプシステム, オーム社 (2007)



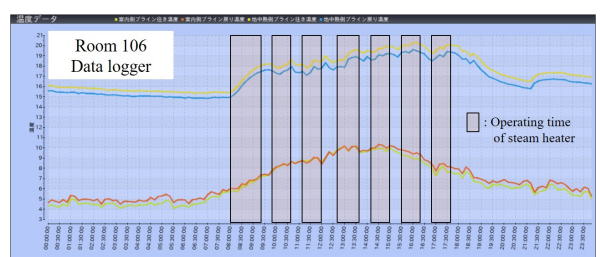
Fri, Nov, 17



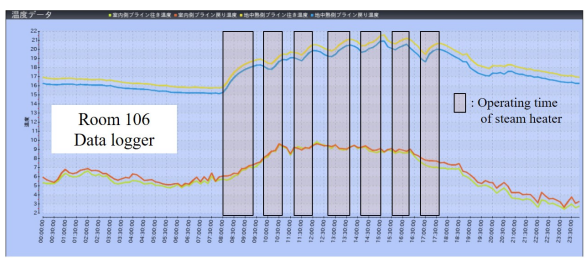
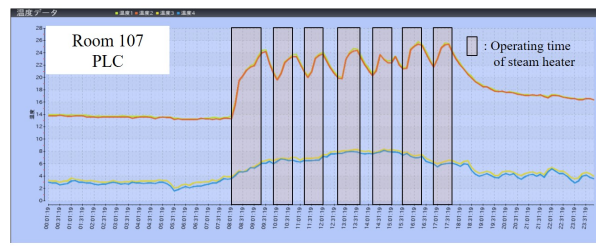
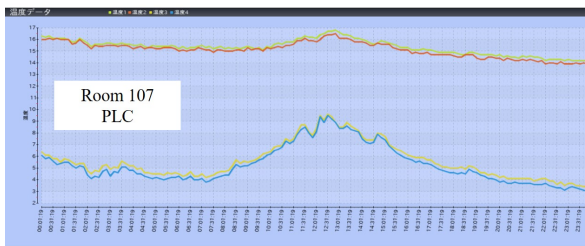
Sat, Nov, 18



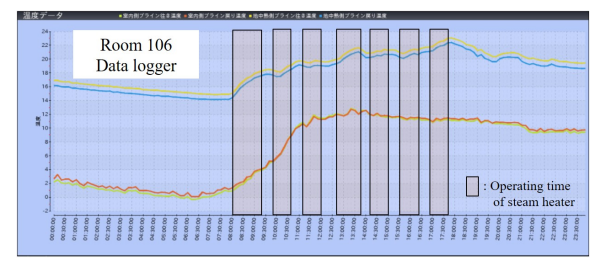
Sun, Nov, 19



Mon, Nov, 20



Tue, Nov, 21



Wed, Nov, 22

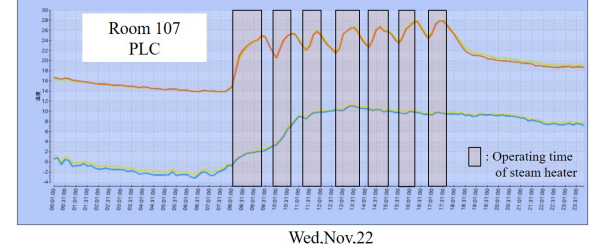
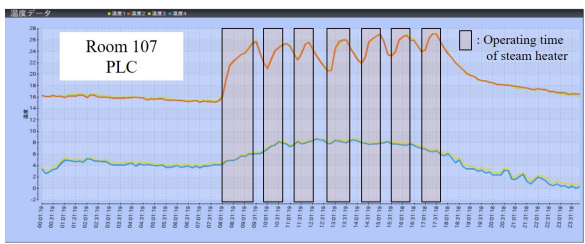


Fig. 5 データロガーと PLC で計測された各部屋の温度のグラフ. Graph of the temperature of each room measured by data logger and PLC .