

〔論 文〕

IoT 技術を活用した服薬支援システムの開発

中嶋 智保^{*1}・江藤 信一^{*2}

Development of a medication support system using the IoT technology

Chiho NAKASHIMA^{*1}, Shinichi ETOH^{*2}

Abstract

In this study, we developed a medication support system. First, ultrasonic, strain, and three-axis acceleration sensors were attached to the medicine box. The sensors were controlled by a Raspberry Pi3 to create an IoT medicine box. The controlled results were stored in a database called DynamoDB using the AWS cloud service. The sensor data were distributed to specified e-mail addresses, thereby allowing the state of the medicine box to be publicized. In addition, by developing Alexa skills based on the acquired sensor data, an Amazon Echo Plus was used to express the state of the medicine box and provide feedback to users.

Key Words : IoT, Raspberry Pi, Taking medicine, Aging society, Health maintenance.

1. 研究の背景・目的

現在、日本は少子高齢化という大きな問題を抱えている。総人口は約1億2644万人（2018年10月1日現在）で、その中の65歳以上の人口は3558万人にのぼる。高齢化率は28.1%となっており、超高齢化社会であると位置づけられている⁽¹⁾。高齢化の原因として出生率の低下や医療技術の発展等が考えられるが、出生率が上がっても高齢化が改善されるのは数十年先である。また、高齢化が進むことで高齢者の1人暮らしや、その延長で孤独死が増えている現状があり、離れて暮らす家族やかかりつけの医師など心配する人が多く見られる⁽²⁾。1人暮らしの高齢者の健康で安心な生活に注目し、その中でも健康を維持するために重要な「服薬動作」に着目したところ薬を飲む高齢者は多く、服薬動作は日常生活の一部と言える。薬は決められた正しい時間に正しい薬を飲むことで効果を発揮する。しかし実際、飲み忘れや指定した時間を過ぎてから飲むことが多くあり、それを服薬する本人だけでなく、周りの人達も気付くことが遅くなる問題がある。

一方、近年ではIoT (Internet of Things) に注目が集まっている。IoTは、従来インターネットに接続されていなかった様々なモノがネットワークを通じてサーバやクラウドサービスに接続され相互に情報交換をすることである。それによって新たな情報・データを処理、変換、分析、連携することが可能になる。IoTの主なユースケースとしてデータ収集、モニタリング、遠隔制御の仕組みなどがある。中でもモニタリングは離れた場所にあるモノの環境、動き、位置などの情報を収集することである。

服薬支援に関するシステム開発の先行研究において ZigBee を使った小型基板にホール素子を使ったスイッチを取り付け磁石の近接によって薬箱の蓋の開閉を検知し、その情報をサーバに蓄積しフィードバックとして患者の家のデジタルフォトフレームにコメントを返すもの⁽⁴⁾、カメラ・コンピュータ・ディスプレイを薬箱に内蔵しカメラで薬保管スペースを撮影して認識するものが開発されている⁽⁵⁾が、それらのシステムは独自のサーバを利用しており、管理を自分で行わなければならないという問題がある。加えて画像は送信等の通信を行う上でデータ量が大きいという問題がある。このことから独自のサーバではなくクラウドサービスを利用することで管理等が簡単になる。また、センサを活用し薬の状態等の情報だけを利用することで薬を撮影した画像よりもデータ量を軽くすることが可能になると考える。さらに、1つのセンサよりも複数のセンサで判定することで信頼度の向上にも繋がると考える。薬箱をIoT化することで薬箱

^{*1} 電子情報システム工学専攻

^{*2} 情報ネットワーク工学科

令和元年10月23日受理

の状態を把握し服薬を本人へ促し飲み忘れを防ぎ、クラウドサービスを介し遠く離れた人たちへ周知することで服薬確認だけでなく生存の確認も可能となる。

本研究では、Raspberry Pi 3 と Amazon Web Service, Amazon Echo Plus を用いて「IoT 薬箱」と「薬箱の状態のメール配信システム」、「音声呼びかけシステム」を統合した服薬支援システムを開発する。Raspberry Pi 3 を使用することにより、取得したセンサデータでなく、センサデータを元に判定した結果をクラウドに蓄積することが可能になり通信量の削減にも繋がる。また、Raspberry Pi 3 で制御した複数のセンサのセンサデータで判定することで信頼度を上げ、Amazon Web Service を介してメール配信することで、独自のサーバを持たずに管理を簡単にする Amazon Echo Plus のスキルを開発し、視覚的だけでなく聴覚的にも知らせることで、離れた場所にある薬箱の状況、動き、位置等の情報を収集してモニタリングし、それらをユーザへフィードバックすることを目的とする。

2. システムの概要

システムの概要を図1に示す。薬箱に超音波距離センサ、歪みセンサ、3軸加速度センサモジュールを取り付け、それらを Raspberry Pi 3 で制御する。そして AWS IoT で Raspberry Pi 3 と Amazon Web Service を接続する。Raspberry Pi 3 で取得したセンサデータを JSON 形式で送信するため、Lambda 関数を用いてセンサデータを整理し、DynamoDB に結果を格納する。また同時に Simple Notification Service で指定したアドレスにメールを配信する。さらに、DynamoDB に格納された結果を別の Lambda 関数を用いて呼び出し Amazon Echo で薬箱を使用する高齢者へ音声で呼びかけを行う。以下に使用した Raspberry Pi 3 と各センサ、Amazon Web Service、作成したシステムについて示す。

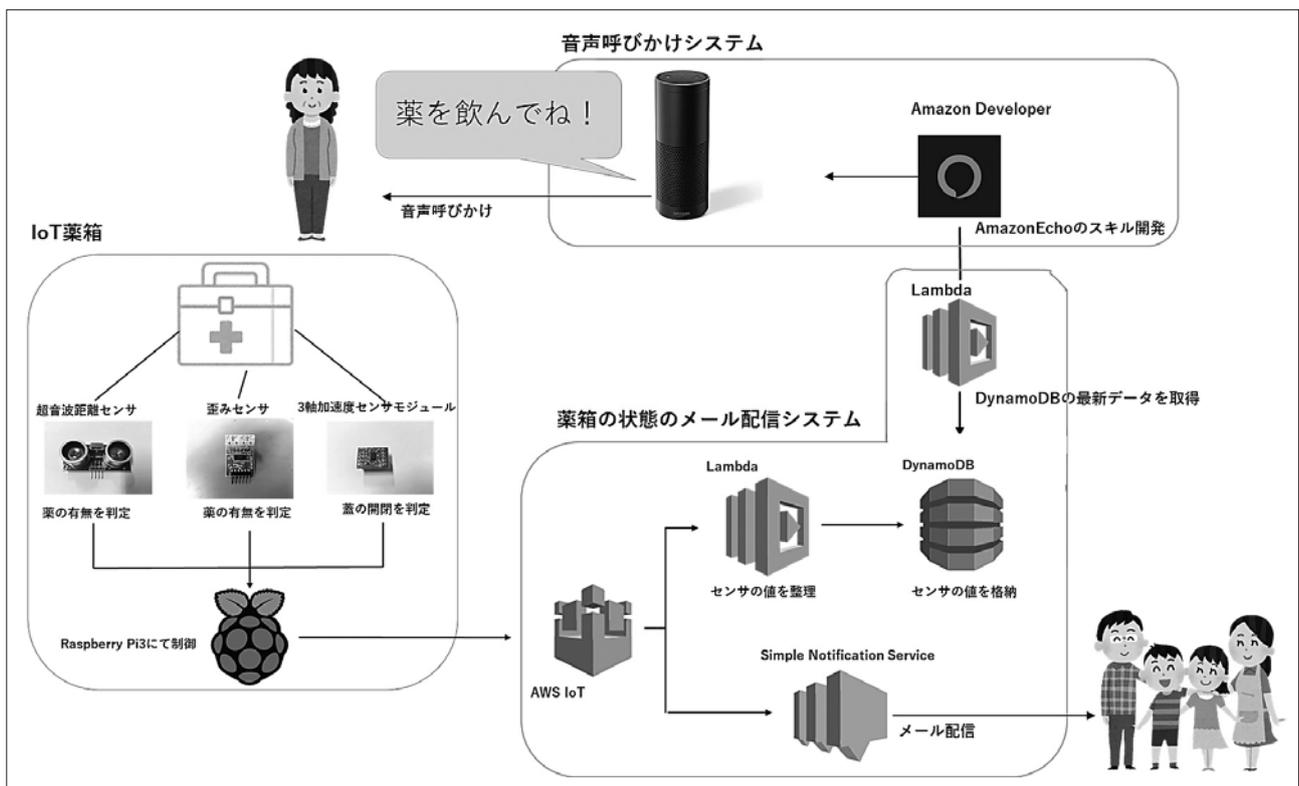


Fig. 1 Outline of medication support system

3. 使用機器及びクラウドサービス

3・1 Raspberry Pi

Raspberry Pi (図2, 表1) は, 超小型コンピュータでキーボードやマウス, ディスプレイなどを接続すると通常のPCと同様に操作ができる. OSはRaspbianをインストールして使用する. Raspberry Piの特徴として, まず安価で小型であることが挙げられる. 次にRaspberry PiにはGPIO (General Purpose Input / Output) ポートと呼ばれる汎用入出力ピンがあり, 電気的なデジタル信号を入出力することが可能である. これらにセンサを接続して, プログラムで直接制御できる⁽³⁾. さらに今回使用するRaspberry Pi 3 (以後RasPi3)はWi-FiとBluetooth機能を搭載している. IoTはRaspberry Piが得意とする分野であり, 本研究ではPythonを用いてIoT薬箱に取り付けるセンサを制御した.



Fig. 2 Raspberry Pi3 Model B+

Table 1 Raspberry Pi3 Model B+ Specification

CPU	1.4GHz クアッドコア Cortex-a53
メモリ	1GB, DDR2, 450MHz, 低電圧 SDRAM
電源	5V2.5A
最大消費電力	約12.5W
USB	USB2.0ポート×4
メモリカード	microSD カードスロット×1

3・2 超音波距離センサ

超音波距離センサ (図3, 表2) は超音波の反射時間を利用して非接触で距離を測定するセンサである. 外部からトリガパルスを入力すると超音波パルスが送信され, 出力された反射時間信号を計算することによって距離を測定することが可能である. 物体への反射で距離を測定するため, 物体の有無が明確になる. 本研究では薬までの距離を検出することで薬の有無の判定に用いた.

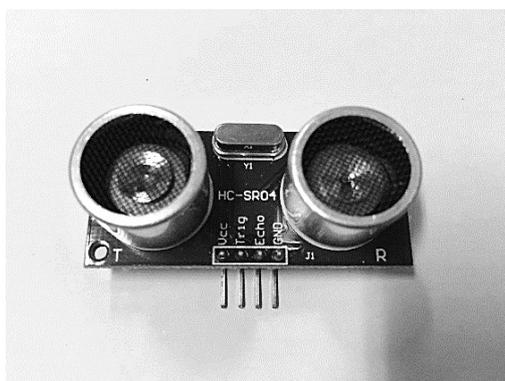


Fig. 3 Ultrasonic sensor (HC-SR04)

Table 2 Ultrasonic sensor (HC-SR04) Specification

測距範囲	2~400cm
電源電圧	DC5.0V
動作電流	15mA
動作周波数	40kHz
トリガ信号	10μS
エコー出力信号	反射時間
サイズ	450×200×150mm

3・3 歪みセンサ

歪みセンサ (図4, 表3) は質量やトルクなどを検出するセンサ (荷重変換器) である. アルミ起歪体にひずみゲージがホイートストンブリッジ回路構成で貼りつけられている. 荷重 (0~500g) に応じた電圧を出力する. 複数のセンサデータを元に判定するため, 超音波距離センサとは異なるセンサを用いる必要がある. 本研究では薬の重さを検出

することで薬の有無の判定に用いた。

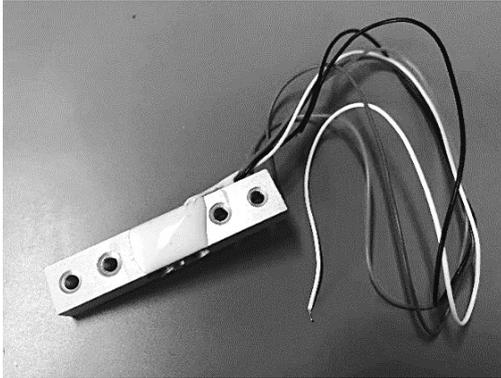


Fig. 4 Load cell (SC 616C 500g)

Table 3 Load cell (SC 616C 500g) Specification

定格容量	500g
印加電圧範囲	3 ~ 10V
定格出力	$0.8 \pm 0.15 \text{mV/V}$
温度範囲	$-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$
サイズ	$45 \times 9.3 \times 6 \text{mm}$
質量	約 7g

3・4 3軸加速度センサモジュール

3軸加速度センサモジュール（図5，表4）は位相検波方式の復調技法を用いて，加速度の大きさと方向を決定するセンサである。シリコン・ウェーハの上面に構成されるポリシリコン表面マイクロマシン構造で，ポリシリコンのスプリングがこの構造部をウェーハ表面上に支え，加速度に対する抵抗を与える。構造部の変位は，独立した固定プレートと可動部に取り付けられたプレートで構成される差動コンデンサによって測定する。薬箱をIoT化する上で薬の飲み忘れだけでなく，生存の確認も可能となる。薬の有無だけでなく，高齢者が薬箱に触れることを検知することも生存の確認に重要だと考え，本研究では本センサを用いて蓋の動きを捉えることで薬箱の蓋の開閉の判定に用いた。

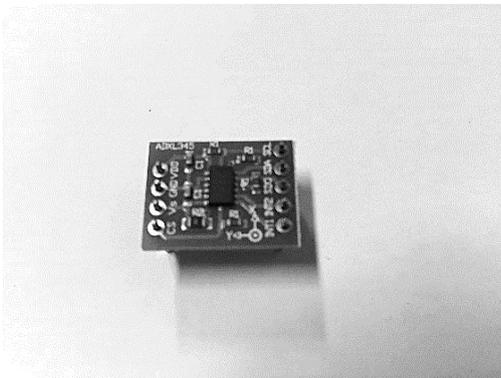


Fig. 5 ADXL 345

Table 4 ADXL 345 Specification

電源電圧範囲	2.0V ~ 3.6V
I/O 電圧範囲	1.7V ~ V_s
温度範囲	$-55^{\circ}\text{C} \sim +105^{\circ}\text{C}$
サイズ	$18.8 \times 14.8 \text{mm}$

3・5 Amazon Web Service

Amazon Web Service（以後AWS）はクラウドの拡張性のある低コストのインフラストラクチャプラットフォームで，迅速な活動やITコスト削減，アプリケーションの拡張などを実現するために役立つ幅広いサービスを提供している。本研究では蓋の開閉の様子や薬の有無の状態を周知するメール配信のためAWS IoTとDynamoDB，Simple Notification Service（以後SNS），Lambdaを利用した。AWS IoTはRasPi3とAWSのサービスを接続し処理するサービスである。DynamoDBはAWS上のデータベース，SNSはメッセージの送信を管理する。LambdaはRasPi3からAWSに送信されるセンサデータを整理するための関数と，音声での呼びかけ時に使用するセンサデータの読み取り，Amazon Echo Plusの発話パターンを示す関数として利用した。

3・6 Amazon Echo Plus

Amazon Echo Plus は音声で操作できるスマートスピーカである。モバイル端末に Alexa アプリをダウンロードし、Wi-Fi ネットワークに接続すると利用できる。話しかけるだけで天気やニュースなどを発話する。本研究では薬箱を使用する利用者に音声呼びかけを行うツールに使用した。

4. IoT 薬箱

IoT 薬箱の全体図を図 6（左：全体写真、右：蓋の解放時写真）に示す。IoT 薬箱は 3D プリンタ（da Vinci 1.0 Aio XYZPrinting 製）で作製した 3 回分の薬を格納する箱（以後、薬仕分けボックス）（図 7）、薬仕分けボックスの仕切りに取り付けられた超音波距離センサ（図 3）と歪みセンサ（図 4）、蓋に取り付けた 3 軸加速度センサモジュール（図 5）、それらを制御する RasPi 3（図 2）とモバイルバッテリーで構成した。

この IoT 薬箱において 2 つの状態の判定を行う。1 つ目は、薬箱の蓋の様子判定である。薬箱の蓋が開いているかという判定に 3 軸加速度センサモジュールを用いた。センサを蓋の内側に取り付け、蓋が閉まっている時のセンサの値と蓋が開いた時の Z 軸の値の差分で判定した。2 つ目は薬の有無の判定である。利用者が薬を飲み忘れていないかという判定に超音波距離センサと歪みセンサを用いた。各センサは薬仕分けボックスの仕切りの上側と底に取り付けた。超音波距離センサは薬を入れていない時の薬仕分けボックスの底からの距離を基準とし、測定した値と差分が無い場合は薬は「無い」、差分がある場合は薬は「有る」と判定した。また歪みセンサも薬を入れていない時の値を基準とし、測定した値と差分が無い場合は薬は「無い」、差分がある場合は薬は「有る」と判定した。センサの値から蓋の開閉の様子、薬の有無を判定するプログラムを作成した。

また、プロセスの起動を管理する Systemd の設定ファイルを用いて、薬箱を使用する高齢者が薬を飲む時間に薬の状態を判定できるようにプログラムの実行時間を指定した。薬仕分けボックスの 3 つの仕切りそれぞれのプログラムを各時間で実行することで 1 日複数回の服薬にも対応することが可能になった。

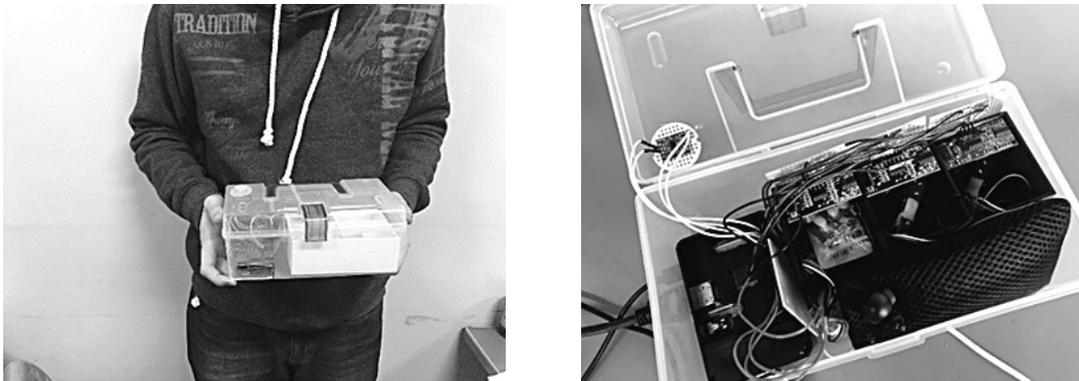


Fig. 6 IoT medicine box

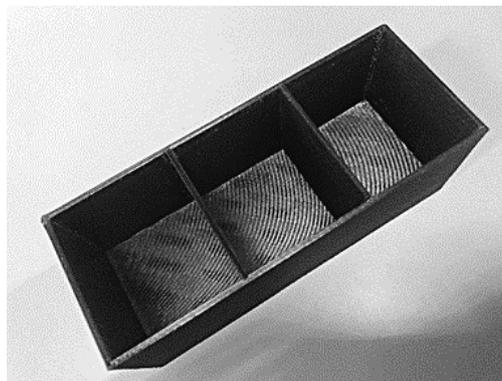


Fig. 7 Medicine sorting box

5. 薬箱の状態のメール配信システム

4で述べたIoT薬箱においてRasPi3で得たセンサデータをクラウド上のAWSに送信する。まず、AWS IoTを利用してIoT薬箱とAWSを接続した。AWS IoTにてデバイスの設定をし、接続用のzipファイルをRasPi3側で解凍することで接続を行った。次にルールを作成した。ルールはRasPi3からAWSにデータを受信した時にAWS側の処理を指定するものである。本研究では、Lambda関数を呼び出しDynamoDBにセンサデータを格納する、メールを配信するという3つの処理をするのでこれをルールで指定した。センサデータはJSON形式でAWSに送信するので、それをLambdaで整理し、DynamoDBに格納する。それと同時にSNSで指定したメールアドレスにセンサデータを配信する。

6. 音声呼びかけシステム

図8に使用したIoT薬箱とAmazon Echo Plusを示す。まず、AWSのLambdaで、関数を作成する。その関数内でDynamoDBに格納された各項目の最新のセンサデータを読み取り、そのセンサデータに従ってAmazon Echo Plusが発話する内容を記した。さらにAmazon DeveloperでAlexaスキルを開発した。Amazon Developerでは、スキルを呼び出す際の言葉や、話し掛ける際の言葉を指定した。図9に発話内容のフローチャートを示す。現段階ではユーザーが呼びかけて動作するシステムである。「アレクサ、薬箱開いて」とスキルを呼び出しスキルを開く。続けて「薬を見て」と話しかけると、センサデータを元に蓋の開閉状態と、薬の有無を判定し、結果を発話する。薬が有る場合には「飲んでくださいね」と発話し服薬を促す。

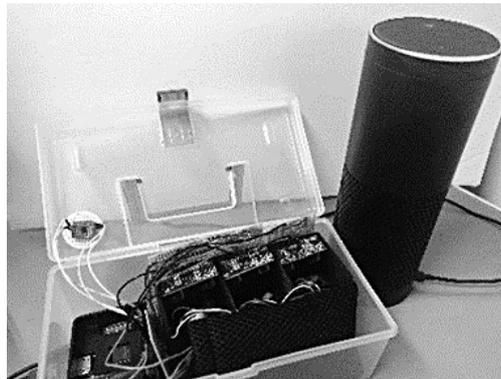


Fig. 8 IoT medicine box and Amazon Echo Plus

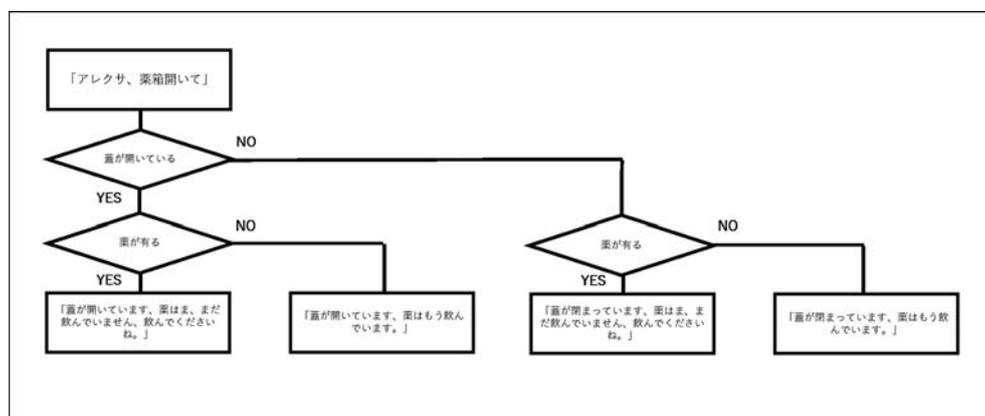


Fig. 9 Flowchart

7. 動作結果

IoT 薬箱内の薬仕分けボックスの仕切り別に作成した各プログラムが、Systemd によって指定した任意の時間に動作し、センサーデータのメールが指定したアドレスに配信された。プログラムが実行されたときの RasPi 3 の画面を図10に示す。超音波距離センサと歪みセンサはセンサーデータと薬の有無を表示した。3 軸加速度センサモジュールはセンサーデータと蓋の開閉を open, または close で表示した。図10は薬仕分けボックスの中に薬が有り、薬箱の蓋が開いていることを表す。次に DynamoDB に格納された様子を図11に示す。AWS が受信した JSON 形式のセンサーデータを「timestamp(プログラムを実行した時間)」、「hizumi(歪みセンサの値)」、「open(薬箱の蓋の開閉の様子)」、「supersonic(超音波距離センサの値)」別に格納している。図11の下段2つでは、12時15分から13時で薬箱の蓋の状態が close のままであること、超音波距離センサの値や歪みセンサの値にほぼ変化がないことから利用者が薬箱に触れていない可能性が考えられる。さらに、指定したメールアドレスに配信されたメールを図12に示す。DynamoDB に格納したセンサーデータを JSON 形式で受信する。また、Amazon Echo Plus に「アレクサ、薬箱を開いて」とスキルを呼び出し、続けて「アレクサ、薬を見て」と言うと、DynamoDB に格納した最新のデータの蓋の開閉の様子と、薬の有無を発話した。薬が有る場合は「薬はまだ、飲んでいません、薬を飲んでくださいね」と発話した。

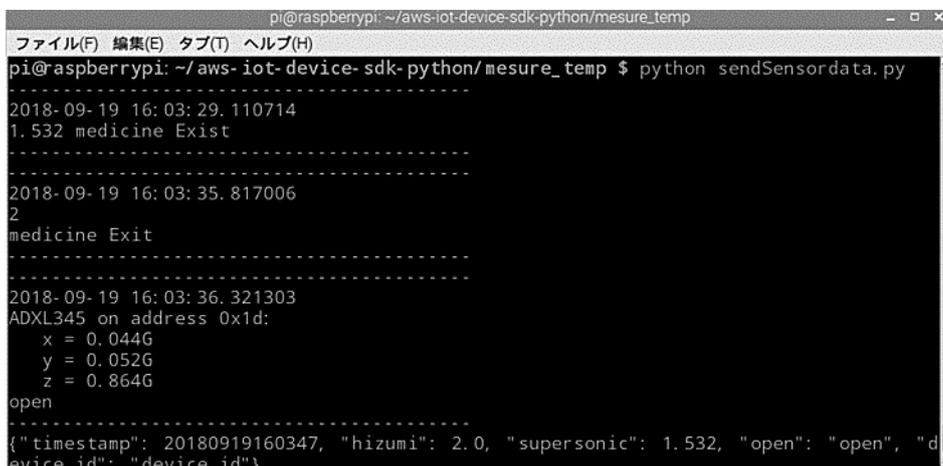


Fig. 10 Screen of Raspberry Pi

device_id	timestamp	hizumi	open	supersonic
device_id	20190920121020	-1	close	4.029
device_id	20190926130028	0	close	3.619
device_id	20190927090028	-1	close	4.949
device_id	20190927115528	0	close	4.981
device_id	20190927121528	-1	close	4.045
device_id	20190927130028	-1	close	4.098

Fig. 11 Screen of DynamoDB



Fig. 12 Screen of Delivery mail

8. まとめ・今後の課題

本研究では複数のセンサと RasPi 3 を駆使して IoT 薬箱を作製し、また AWS と Amazon Echo Plus を利用してメール配信システム、音声呼びかけシステムを構築した。IoT 薬箱には薬箱に複数のセンサを取り付け、蓋の開閉の様子や薬の有無の判定をした。またそのセンサデータを AWS を用いて DB 化及びメール配信することで、遠く離れた人たちにも伝えることを可能とした。さらに IoT 薬箱の利用者へのアプローチとして RasPi 3 で取得したセンサデータをもとにアレクサスキルを開発し、Amazon Echo Plus による音声での呼びかけシステムを構築した。またシステム構築時に AWS を利用したため、SNS 等の AWS 内の他のサービスとの連携を簡単に行え、サーバの構築、管理を必要とせず本システムの IoT 化を実現した。

今後は、メール内容が JSON 形式のセンサデータの配信のため、メールの内容を誰にでも分かりやすい内容にすること、Amazon Echo Plus による音声呼びかけシステムを利用する際「アレクサ、薬箱開いて」とスキルを呼び出して使用するため Amazon Echo Plus が自発的に発話することを目標とする。

文 献

- (1) 令和元年版高齢社会白書
<https://www.cao.go.jp>
- (2) 平成28年版厚生労働白書－人口高齢化を乗り越える社会モデルを考える
<http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/16/>
- (3) 金丸 隆志, “Raspberry Pi で学ぶ電子工作” (2014), 講談社
- (4) 横石 雄大, 鈴木 詩織, 宮崎 圭太, 米村 茂, 羽田 久一, 三次 仁, 中村 修, 村井 純, “センサネットワークを用いた服薬見守り (システム設計)”, 情報処理学会研究報告 (2010), pp. 1 - 7.
- (5) 鈴木拓央, 上瀬雄太, 中内靖, “カメラを内蔵したインテリジェント薬箱による誤服薬リスクの軽減”, The 25th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, (2011), pp. 1 - 2.