

平成 28 年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

組み合わせ可能な

High-Function RFID タグの開発とその応用

主専攻 知能情報メディア主専攻

著者 小原田 和也

指導教員 高橋伸 嵯峨智 志築文太郎

## 要 旨

本研究では気温の計測やディスプレイの表示などの特定の機能をもった High-Function RFID タグを組み合わせることにより，気温のセンシングや情報の通知などを行うことができるデバイスである TAGParts を提案した．TAGParts はエネルギーハーベスティング技術の中の RFID 技術を利用し，マイクロコントローラやディスプレイ，気温センサをバッテリーフリーで駆動させる事が可能である．本研究では TAGParts の実用性を示すためにディスプレイ付きの TAGParts と温度センサ付きの TAGParts をプロトタイプとして作成した．また，プロトタイプを利用して TAGParts の通信特性および駆動可能時間の調査を行った．

本論文では，作成したプロトタイプを利用してタイマーアプリケーションや気温測定アプリケーションなどの 4 つのアプリケーションを作成し，その利用例を示した．

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的とアプローチ	1
1.3	構成	2
<b>第2章</b>	<b>関連研究・関連事例</b>	<b>3</b>
2.1	バッテリーフリーデバイスに関する研究	3
2.2	RFID を用いた研究	3
2.3	High-Function RFID を用いた研究	3
2.4	RFID	4
<b>第3章</b>	<b>TAGParts の設計</b>	<b>6</b>
3.1	概要	6
3.2	利用イメージ	8
<b>第4章</b>	<b>TAGParts の実装</b>	<b>14</b>
4.1	概要	14
4.2	TAGParts 構成部品	14
4.3	Medusa-M2233	15
4.4	TAGParts-Disp と TAGParts-Temp の実装	17
4.4.1	TAGParts-Disp	17
4.4.2	TAGParts-Temp	18
<b>第5章</b>	<b>実験</b>	<b>24</b>
5.1	概要	24
5.2	通信可能距離の測定調査	24
5.2.1	概要	24
5.2.2	結果と考察	24
5.3	TAGParts の駆動可能時間の調査	26
5.3.1	TAGParts-Disp の描画可能時間の調査	26
5.3.2	TAGParts-Disp の描画可能時間の調査結果	29
5.3.3	TAGParts-Temp の計測可能時間の調査	29
5.3.4	TAGParts-Temp の計測可能時間の調査結果	31

5.3.5	考察	31
<b>第 6 章</b>	<b>アプリケーション例</b>	<b>32</b>
6.1	概要	32
6.2	スマートフォンアプリケーションの実装	32
6.3	タイマーアプリケーション	34
6.4	賞味期限通知アプリケーション	34
6.5	温度通知アプリケーション	35
6.6	メール通知アプリケーション	35
<b>第 7 章</b>	<b>議論</b>	<b>39</b>
7.1	通信距離	39
7.2	設置箇所の限界	39
7.3	コスト	39
<b>第 8 章</b>	<b>結論</b>	<b>41</b>
	謝辞	42
	参考文献	43
<b>付 録 A</b>	<b>実験結果データ</b>	<b>45</b>
A.1	通信可能距離の測定調査結果	45
A.2	TAGParts の駆動可能時間の調査結果	46
A.2.1	TAGParts-Disp の描画可能時間の調査結果	46
A.2.2	TAGParts-Temp の計測可能時間の調査結果	49

# 図目次

3.1	本研究で用いる機器	7
3.2	システムブロック図	7
3.3	現在時刻を表示する TAGParts-Disp	9
3.4	牛乳パックに取り付けられた TAGParts-Disp	10
3.5	ドアに取り付けられた TAGParts-Temp	11
3.6	自転車に取り付けられた TAGParts-Accel	12
3.7	ディスプレイ PC のディスプレイに取り付けられた TAGParts-Disp	13
4.1	ASR-030D を iPhone 5s に取り付けた様子	14
4.2	TAGParts のブロック図	16
4.3	Medusa-M2233	17
4.4	TAGParts-Disp のディスプレイ駆動回路の回路図	18
4.5	TAGParts-Disp のディスプレイ駆動回路のボード図	19
4.6	作成した TAGParts-Disp	20
4.7	TAGParts-Temp の気温センサ駆動回路の回路図	21
4.8	TAGParts-Temp の気温センサ駆動回路のボード図	22
4.9	作成した TAGParts-Temp	23
5.1	三脚にのせた TAGParts	25
5.2	Medusa-M2233 の読み取り可能距離	26
5.3	TAGParts-Disp の読み取り可能距離	27
5.4	TAGParts-Temp の読み取り可能距離	28
5.5	TAGParts-Disp のディスプレイ保持時間	30
5.6	TAGParts-Temp の計測可能時間	31
6.1	スマートフォンアプリケーションのメイン画面	33
6.2	タイマーを表示したときの TAGParts-Disp	34
6.3	賞味期限通知アプリケーション画面	36
6.4	ジュースの賞味期限の通知を行っている様子	37
6.5	TAGParts-Temp と TAGParts-Disp をドアに設置し、温度を表示した様子	37
6.6	TAGParts-Disp に未読メールが有る事を表示させた様子	38

# 表 目 次

2.1	RFID における周波数帯の分類とその特徴 . . . . .	4
2.2	RFID におけるタグの分類とその特徴 . . . . .	5
4.1	TAGParts で用いる部品一覧 . . . . .	15
A.1	Medusa-M2233 と TAGParts-Disp , TAGParts-Temp の角度と通信距離 . . . . .	45
A.2	TAGParts-Disp の経過時間と開放電圧 . . . . .	46
A.3	TAGParts-Temp の経過時間と開放電圧 . . . . .	49

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景

古くからユビキタスコンピューティングの実現に向け多くの研究やデバイスの開発が行われている。また Internet of Things(IoT) と呼ばれる、モノ同士がインターネットに繋がり、相互に通信することで制御を行うシステムも登場している。例として、Cowlar<sup>1</sup> では個々の牛に取り付けられたセンサにより、牛の体温や睡眠状態のデータを収集し、分析するものがある。また BigBelly<sup>2</sup> はネットワークにつながれたゴミ箱の溜まり具合をモニタリングし、ゴミ回収の効率をあげることに利用されている。KOMTRAX<sup>3</sup> はショベルカーやクレーン車のような建設機械の稼働状況や GPS による位置情報などの情報をネットワークを通じ確認できるシステムであり、保守管理や省エネ運転支援などに利用されている。この様にこれらデバイスやシステムは人々の身の回りの環境に置かれ、我々の生活を豊かにしつつある。

しかし、これらのデバイスを動作させるにはバッテリーなどの電源が必要である。しかしバッテリーの性能は CPU やハードディスクの性能に比べ向上しておらず [1]、長時間の動作や高度な処理をさせるには足枷となっている。またデバイスの数が膨大になると、大量のバッテリーの充電を行う必要があり、時間・コストの面で課題が生じる。さらにバッテリーは高価であり、大量に配置できるほど安価に製造できないという問題もある。

安全面では高温・低温環境下ではバッテリーが劣化してしまい、最悪の場合は破裂や爆発などの事故につながる場合もある。また破棄する際、環境に対する悪影響の問題もあげられる。

## 1.2 研究目的とアプローチ

バッテリーを用いず、デバイスを駆動させる技術として、エナジーハーベスティング技術がある。エナジーハーベスティング技術とは太陽光や電波、温度差など周囲の環境の僅かなエネルギーを確保し、電力に変換する技術であり、「環境発電技術」とも呼ばれている技術である。本研究ではエナジーハーベスティング技術を用い、バッテリーを用いないデバイスである TAGParts の開発を行い、応用例を示す事を目的とする。本研究ではエナジーハーベスティング技術の中の Radio Frequency Identifier(RFID) 技術に着目する。

RFID とは電磁誘導や電波により電力を確保し、無線で IC チップの情報をやり取りする技術であり、乗車カードや電子マネーなどに利用されている。特に High-Function RFID は確保した電力

---

<sup>1</sup><https://www.cowlar.com/>

<sup>2</sup><http://bigbelly.com/>

<sup>3</sup><http://www.komatsu-kenki.co.jp/service/product/komtrax/>

により IC チップだけでなく他のセンサやマイクロコントローラを動作させる技術である．提案するデバイスは High-Function RFID を利用する．

### 1.3 構成

次章以降の本論文の構成について以下に記す．本章では本研究の背景および目的とアプローチについて述べた．続く第 2 章では関連する研究や事例について述べる．第 3 章ではデバイスの概要や利用イメージについて述べる．第 4 章では TAGParts のプロトタイプの実装について詳細に述べる．第 5 章では作成したプロトタイプの通信距離特性や駆動時間について評価し，考察する．第 6 章では TAGParts のプロトタイプを用いた利用例について紹介する．7 章では TAGParts についての議論を行う．最後に第 8 章では本論文の結論と今後の課題を述べる．



## 第2章 関連研究・関連事例

### 2.1 バッテリーフリーデバイスに関する研究

バッテリーフリーであるデバイスはいくつか研究されている。Grosse-Puppendahl ら [2] は周囲光を利用したバッテリーフリーディスプレイを示している。この研究では、太陽電池と Bluetooth Low Energy(BLE) モジュール、電子ペーパーを搭載したデバイスを作成しており、BLE を通じて PC やスマートフォンからの通知や天気をディスプレイに表示することが可能である。また、Zhao ら [3] は温度差を利用したワイヤレスセンシングシステムを示している。この研究では、Atmos Clock と同様に、微小な温度変化で膨張・収縮するガスを利用している。このガスは蛇腹状の筒に閉じ込められており、ガスが温度変化により膨張収縮することにより筒の蛇腹が上下に運動する。この運動から電磁誘導により電力を生み出し、電子ペーパーの書き換えや無線で通信の行う事を可能にしている。また SenSprout[4] は 2.4 ~ 2.5 GHz の電波から給電し、土の湿度を計測するシステムを示している。このシステムは計測した湿度を無線で通信することが可能となっている。

### 2.2 RFID を用いた研究

RFID は通常、物体の識別や IC カード、電子マネーなどに利用されているが、無線により電力の送信や情報のやり取りが出来る点から様々な分野に応用されている。PaperID[5] は RFID の電波強度から様々なジェスチャを認識する研究である。この研究では RFID タグの空中を横切る動作や、タグをなぞる動作、タッチ、ホバー、タグの回転や動きを認識することを可能にしている。また Beauty Tech Nails[6] は指に RFID タグを取り付け、タグから送られる ID により、どの指で RFID リーダをタッチしたかを識別する研究を行っている。タグはマニキュアなどの装飾を施すことにより目立たなくすることが出来る。この研究ではリーダにタッチした指を認識し、ピアノの演奏や DJ コントローラとして使用する例が挙げられている。さらに、Berlin ら [7] は腕に RFID リーダや加速度センサを取り付け、RFID タグを取り付けられた物体をどのように操作したか、例えば金槌であれば振り下ろしているかなどの動作を検出するシステムを提案している。

### 2.3 High-Function RFID を用いた研究

RFID の無線給電によりセンサやマイクロコントローラを駆動させる High-Function RFID を用いる研究としては WISP[8] や、NFC-WISP[9] がある。WISP は UHF 帯の RFID を利用し、無線給電によりマイクロコントローラや外部のセンサを駆動出来るようにしたものである。NFC-WISP

は RFID タグの一種である Near field communication(NFC) を利用して無線により給電し，マイクロコントローラや気温センサ，電子ペーパーを駆動させるものである．NFC-WISP では周囲の気温を計測し，電子ペーパーに表示する利用例を示している．また WISP を利用した研究として Buettner ら [10] の研究がある．この研究では加速度センサを取り付けた WISP を利用して人間の活動をセンシングしている．

## 2.4 RFID

RFID とは電波，電磁誘導により RFID タグへ無線で給電し，タグ上の IC チップの情報を送受信するものである．電磁界の変化による電磁誘導によりエネルギーを得る方法を電磁誘導方式と呼び，電波によりエネルギーを得る方法を電波方式と呼ぶ．また周波数やタグの種類によっても特徴や使用場面が異なる．周波数においては，130 Hz ～ 135 Hz 帯のもの，13.56 MHz 帯，433 MHz 帯，900 MHz 帯，2.45 GHz 帯のものが存在する．表 2.1 に周波数帯の分類とその特徴を示す．

表 2.1: RFID における周波数帯の分類とその特徴

周波数	特徴
130 Hz ～ 135 Hz 帯 (LF 帯)	電磁誘導方式．波長が長いためアンテナも長くなり，携行性に劣る．水分の影響を受けにくい．
13.56 MHz 帯 (HF 帯)	電磁誘導方式．NFC などの近距離無線通信 IC カードや万引き防止システムなどに利用されている．
433 MHz 帯 (UHF 帯)	電波方式．海上輸送コンテナの識別用に使用されている．
900 MHz 帯 (UHF 帯)	電波方式．波長が短く，アンテナを小型にできる．また通信可能距離が長い．
2.45 GHz 帯 (マイクロ波帯)	電波方式．金属に対する影響が小さいが，900 MHz 帯ほど通信距離が長くない．

130 Hz ～ 135 帯のものは電磁誘導方式であり，水分の影響を受けにくく，回転寿司の皿やスキー場のリフト券などに埋め込まれて利用されている．13.56 MHz 帯も電磁誘導方式であり，一般に交通系 IC カードに利用されている．433 MHz 帯は海上輸送コンテナなどに利用されている．900 MHz 帯は別名 Ultra High Frequency(UHF) 帯とも呼ばれ，波長が短いため電波の回り込みができ，障害物があっても通信が可能である．また通信距離が長く 2 ～ 3 m である．最後に 2.45 GHz 帯の RFID は，波長が短すぎるため回り込みが起きにくく，UHF 帯よりは通信距離が短くなる．

RFID タグはパッシブ型，アクティブ型，セミアクティブ型の 3 種類が存在する．表 2.2 に RFID におけるタグの分類とその特徴を示す．

パッシブ型は RFID リーダからの電波を IC に取り付けられたアンテナが受けて電力を確保するタグである．IC チップからの情報はリーダが発する電波の反射波に乗せて送信される．アクティブ型は電池を内蔵したタグであり，電池からの電力で電波を発するため通信距離が長い．セミア

表 2.2: RFID におけるタグの分類とその特徴

タグ名	特徴
パッシブタグ	電磁誘導や電波によりエネルギーを得るタグ．電池を内蔵しない．
アクティブタグ	電池を内蔵したタグ．自ら電波を発することが可能であるため通信距離が長い．
セミアクティブタグ	初期はパッシブタグとして起動し，その後はアクティブタグとして活動するタグ．

クティブ型は，電池を内蔵するが，初めはパッシブ型として動作し，電波を受信した後はアクティブ型として情報を送信するタイプのタグである．

また High-Function RFID といった技術がある．これは電波から得た電力により他のマイクロコントローラやセンサを動作させるものである．通常の IC とは異なり，マイクロコントローラ用に Serial Peripheral Interface(SPI) や電源用のピンが存在する．マイクロコントローラは SPI を通じて接続され，IC チップへの書き込みや読み込みの命令がメモリマップド I/O によりマイクロコントローラへと送信される仕組みとなっている．

## 第3章 TAGParts の設計

### 3.1 概要

本章ではTAGPartsの概要，利用イメージなどについて述べる．TAGPartsはRFIDを利用し，バッテリーフリーでありながらマイクロコントローラやディスプレイ，気温・気圧・加速度センサなどを動作させるデバイスである．本研究のシステムは以下の3つから成る．

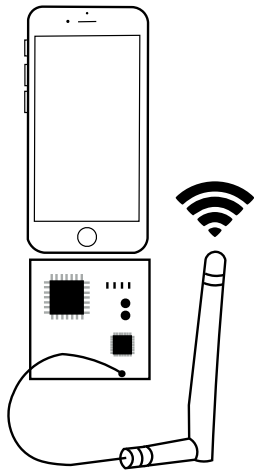
1. スマートフォン
2. RFID リーダ
3. TAGParts

TAGPartsはスマートフォンと通信をすることで制御される．通信にはスマートフォンと接続されたRFIDリーダを用いる．スマートフォンはRFIDリーダから電波を発生させ，TAGPartsは電波を受けて電力を確保する．スマートフォンとTAGParts間で相互に通信する事が可能であるため，スマートフォンからの情報をTAGPartsに送信することでTAGPartsの振る舞いを变化させたり，TAGPartsのメモリに書き込まれた情報や，気温・気圧などのセンサ情報をスマートフォンへ送信することが可能となる(図3.1)．

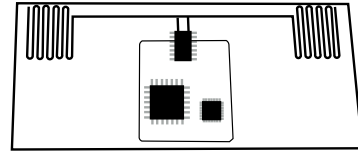
また本研究の特徴として，情報の表示用としてディスプレイを駆動させるTAGPartsや気温を計測するTAGParts，加速度を計測するTAGPartsなど固有の機能を有したTAGPartsを複数組み合わせる事により様々な場面で使用できる点がある．固有の機能を持つTAGPartsを特定の物や場所に設置することにより，RFIDリーダを持つユーザに対して物や場所固有の様々な情報を提示する事が可能である．詳しいイメージは次節にて述べる．

また図3.2に本システムのブロック図を示す．スマートフォンから気温センサ付きのTAGPartsの気温を読み取る場合の流れは図中の橙色の矢印が示している．スマートフォンからの気温測定命令はまずRFIDリーダへと送られ，RFIDリーダからはTAGParts内のメモリの，あるアドレスへのread命令として送信する．TAGPartsは送信されたアドレスから気温測定命令が来たと判断し，気温を測定して応答を返す．応答を得たRFIDリーダはスマートフォンへと値を中継する．加速度においても同様であり，図中の水色の矢印で流れを示している．またディスプレイにおいては図中の黒の矢印で示しているが，こちらはRFIDリーダから送信する命令はread命令ではなくwrite命令となる．write命令にはアドレスと一緒にデータを送信することが可能であり，ディスプレイに描画する内容をデータとして送信している．

(1)スマートフォン



(3)TAGParts



(2)RFIDリーダー

図 3.1: 本研究で用いる機器．(1) スマートフォンと(2)RFID リーダが接続されており，スマートフォンからの情報を RFID リーダを通じて TAGParts に送信することや TAGParts の情報をスマートフォンが受信する．

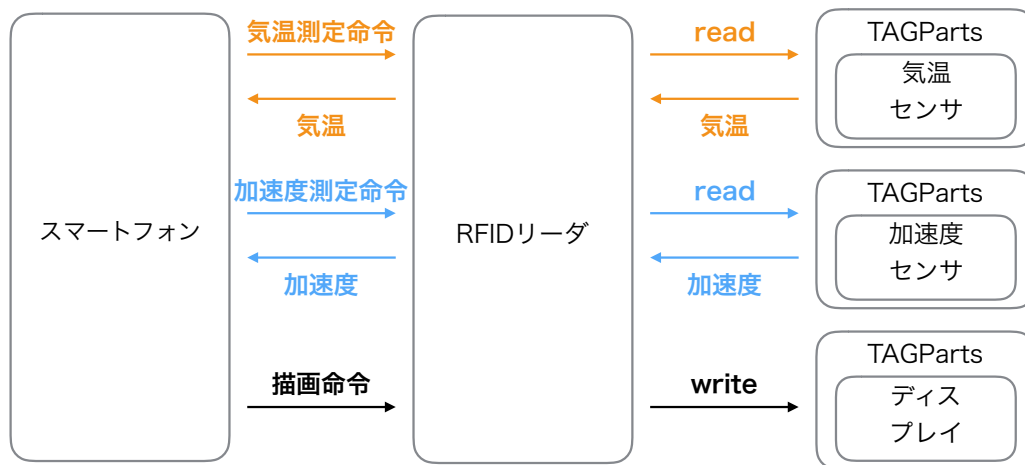


図 3.2: システムブロック図．気温を読み取る制御の流れを橙色の矢印，加速度を読み取る制御の流れを水色の矢印，ディスプレイに描画するときの制御の流れを黒の矢印で示している．スマートフォンからの命令は対応するアドレスへと read もしくは write 命令として TAGParts へと送信される．

## 3.2 利用イメージ

ユーザが朝起きてから、職場に向かう場面を例として利用イメージを説明する。ユーザはRFIDリーダが取り付けられたスマートフォンを所持している。

1. ユーザは朝起き、着替えを行いRFIDリーダが装着されたスマートフォンを胸ポケットへ入れる
2. ユーザは腕にディスプレイが付いたTAGPartsであるTAGParts-Dispを取り付ける。その後TAGParts-Dispを胸ポケットへ近づけ、現在時刻を確認する(図3.3)
3. 朝食の時間であるため、準備を初めたユーザは冷蔵庫を開ける
4. 冷蔵庫の中で牛乳パックに取り付けられたTAGParts-Dispが牛乳の賞味期限が明日であることを伝える(図3.4)
5. 朝食を取り、身支度を整えた後、ユーザは外出するために玄関の前まで行く
6. 扉に取り付けられた気温センサが付いたTAGPartsであるTAGParts-Tempが外気温を取得し、ユーザの腕のTAGParts-Dispにその温度が表示される(図3.5)。部屋より寒いことが分かりユーザは外套を取りにもどる
7. 部屋を出たユーザは自転車に乗る
8. 自転車に取り付けられた加速度センサが付いたTAGParts-Accelが速度を取得し、ユーザの腕のTAGParts-Dispにその速度が表示される(図3.6)
9. 職場に到着し、自分の席に座る
10. デスクトップPCのディスプレイに取り付けられたTAGParts-Dispが未読メールが2通ある事を知らせる(図3.7)
11. ユーザはTAGParts上のボタンを押し、TAGParts-Dispが最初の未読メールのタイトルを表示する

上記2, 4において、腕に取り付けられたTAGParts-Dispは胸ポケットにあるRFIDリーダからの電波を受けて、現在時刻や賞味期限の残り日数を表示している。また上記6では気温、8では加速度センサが付いたTAGPartsがRFIDリーダからの電波を受け、スマートフォンへ気温・加速度を送信し、スマートフォンはユーザに取り付けられたTAGParts-Dispへその情報を送信している。

またTAGPartsは操作のボタンが搭載されており、ボタンの操作情報をスマートフォンが受信することでスマートフォンからTAGPartsへ送信される情報を操作できる。例として上記11ではTAGParts-Dispボタンを操作し、未読メールの件数を表示している状態から、未読メールタイトルを表示する状態へ遷移させている。

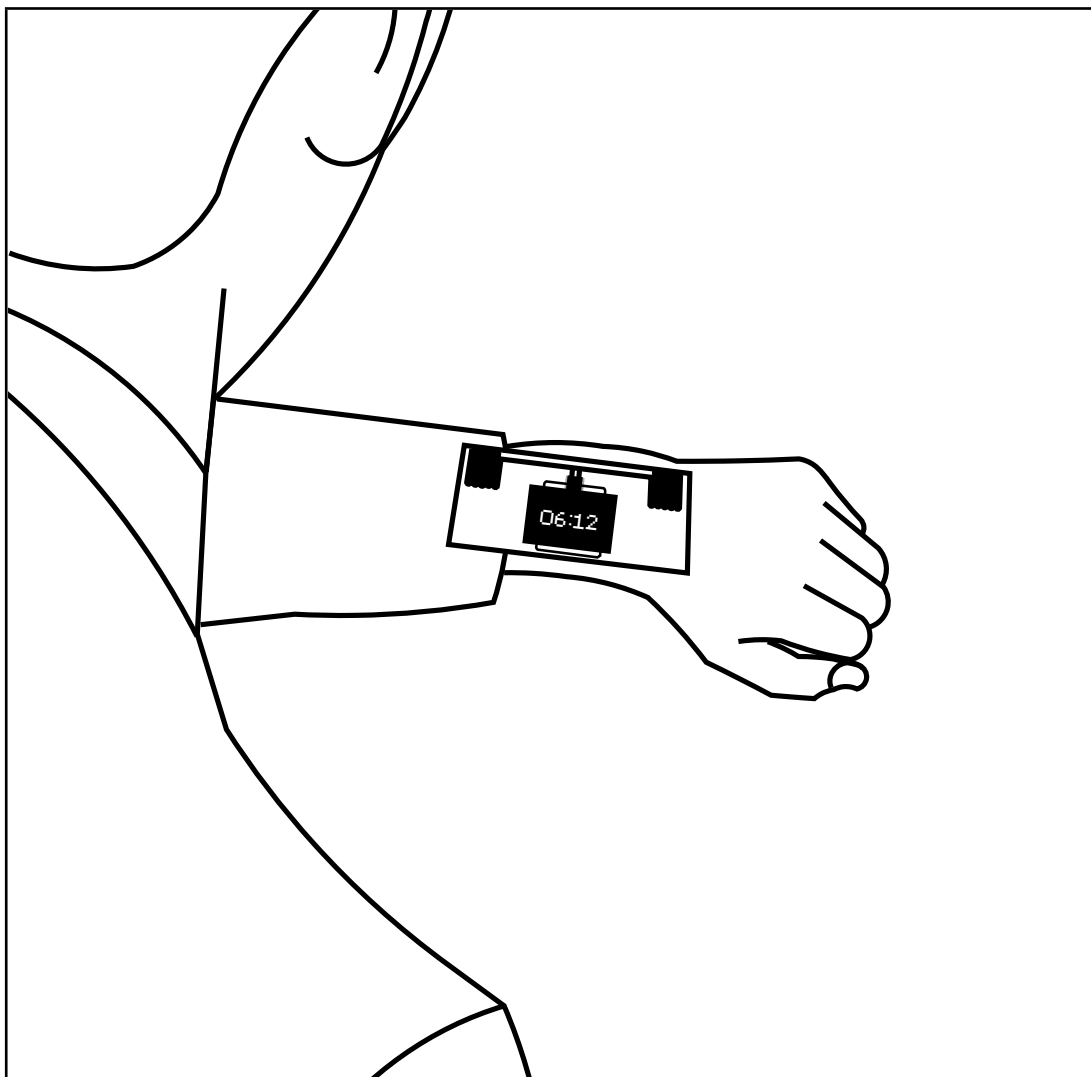


図 3.3: 現在時刻を表示する TAGParts-Disp . スマートフォンがユーザの腕に取り付けられた TAGParts-Disp へ現在時刻を送信し , 表示させる

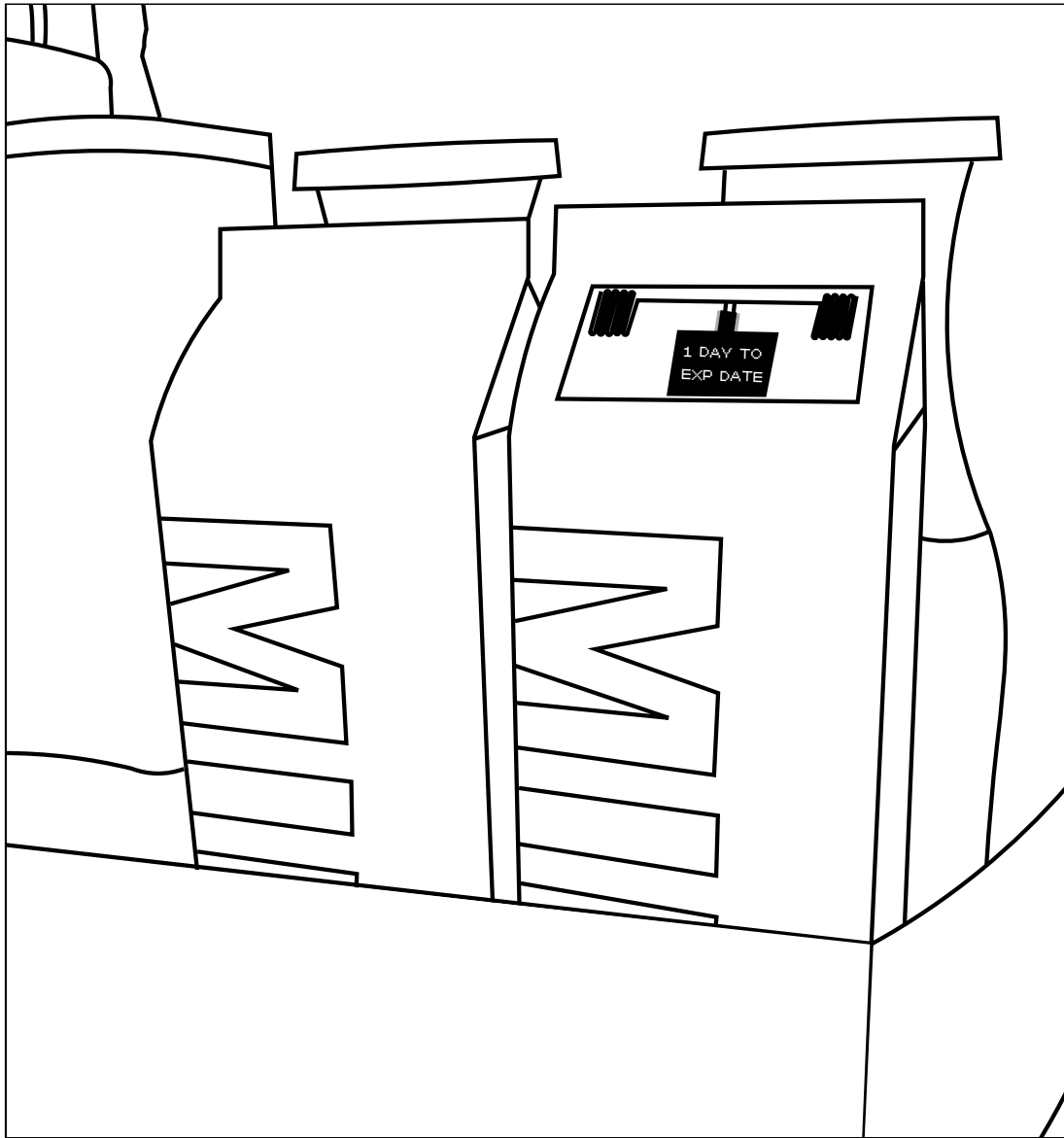


図 3.4: 牛乳パックに取り付けられた TAGParts-Disp . TAGParts-Disp のディスプレイが賞味期限の残り日数を表示する .



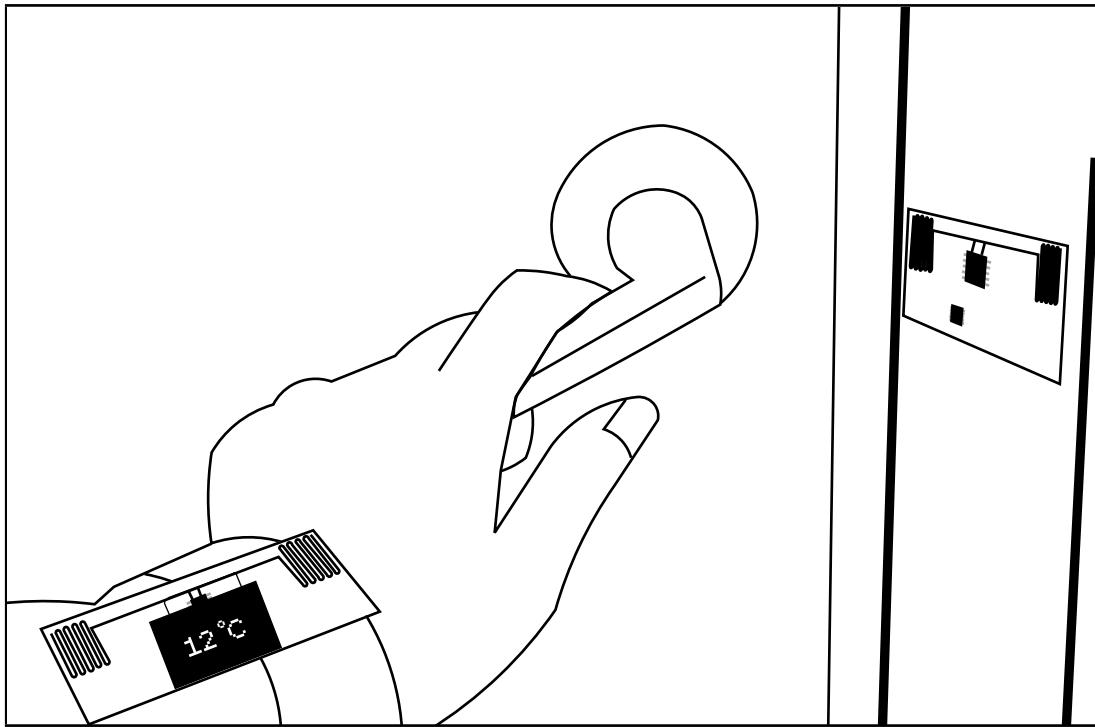


図 3.5: ドアに取り付けられた TAGParts-Temp . 気温センサが部屋の外気温を計測しスマートフォンへ気温を送信する . スマートフォンはユーザに取り付けられた TAGParts-Disp へ気温を送信し , 表示させる .

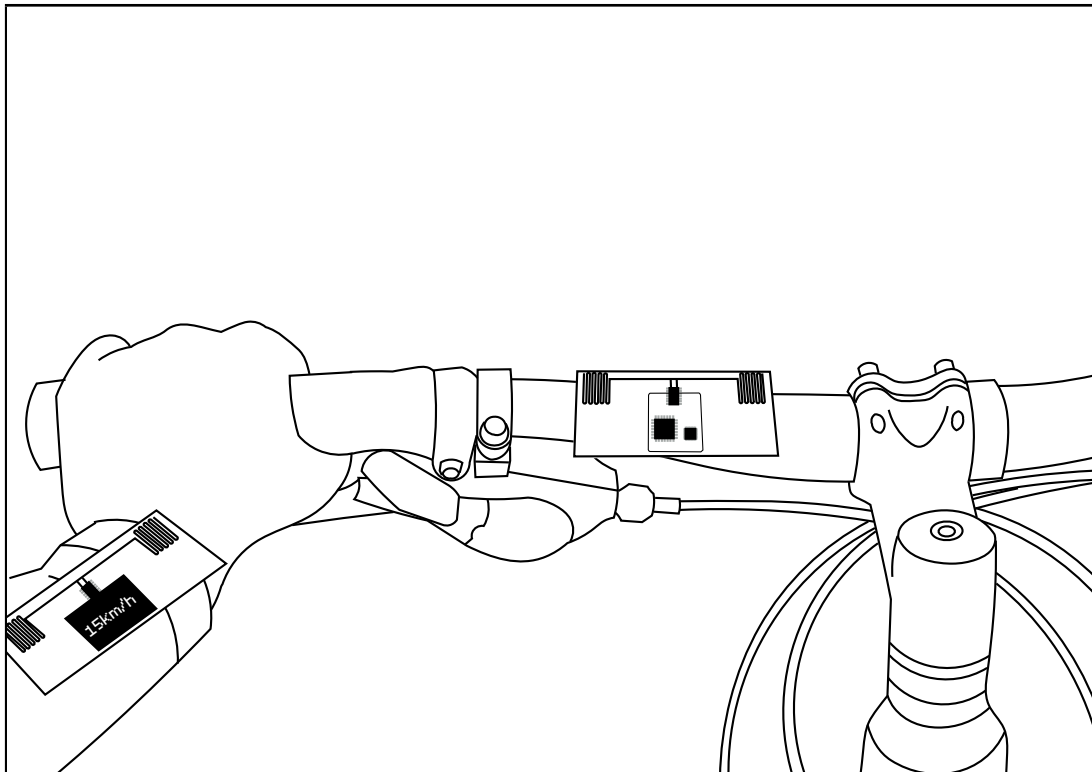


図 3.6: 自転車に取り付けられた TAGParts-Accel . 加速度センサから自転車の速度を計算し , スマートフォンへ速度を送信する . スマートフォンはユーザに取り付けられた TAGParts-Disp へ速度を送信し , 表示させる .

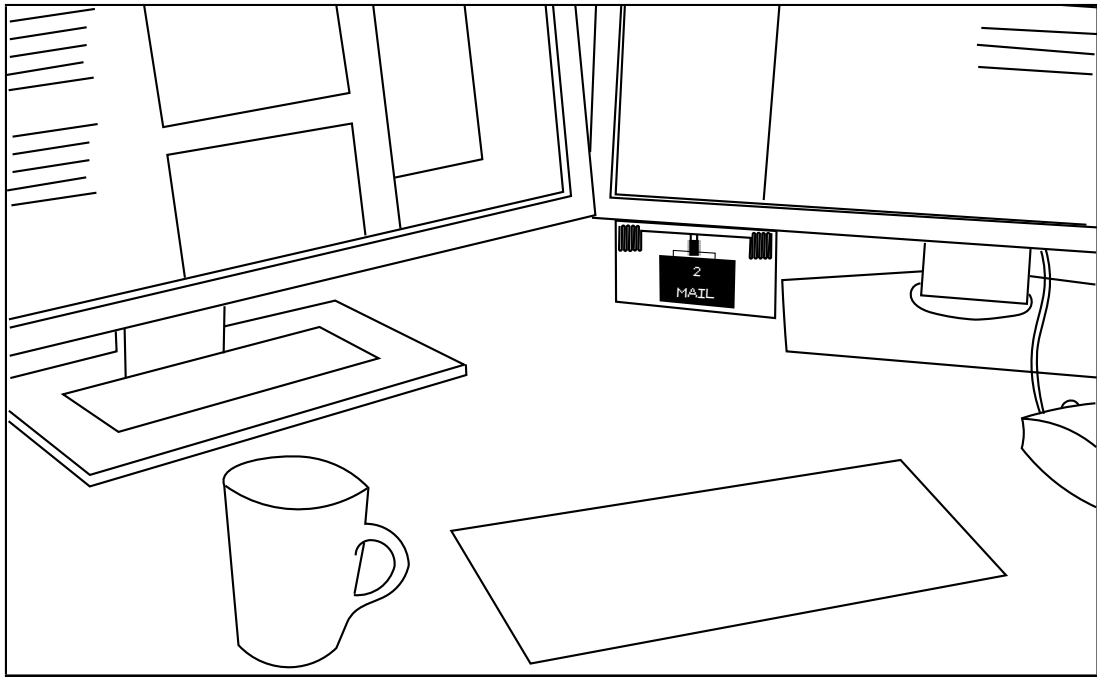


図 3.7: ディスプレイ PC のディスプレイに取り付けられた TAGParts-Disp . スマートフォンが未読メールを取得し , TAGParts-Disp へと送信する . ユーザは TAGParts-Disp に取り付けられたボタンを操作して未読メールのタイトルを確認する .

## 第4章 TAGPartsの実装

### 4.1 概要

本章では TAGParts のプロトタイプ実装について述べる．前章にて本システムはスマートフォン，RFID リーダ，TAGParts の 3 つから成ることはすでに述べた．本研究ではスマートフォンは Apple 社の iPhone 5s を，RFID リーダでは Asterisk 社の RFID AsReader ASR-030D<sup>1</sup> を利用する．ASR-030D は iPhone へ Lightning インタフェースにて接続する事が可能なものであり，920 MHz 帯の RFID リーダ・ライタである．スマートフォンへは図 4.1 のように装着することが可能である．



図 4.1: ASR-030D を iPhone 5s に取り付けた様子．左が前面，右が裏面である．RFID リーダは iPhone 5s の裏に取り付けられ電波を発する．

### 4.2 TAGParts 構成部品

TAGParts はディスプレイや温度センサ，加速度センサを搭載したものであり，これらを組み合わせ，環境のセンシングやセンシングした情報の表示を可能とするものであることはすでに述べた．本節では，ディスプレイやセンサ以外の最低限必要な部品について挙げ，その設計について述べる．

TAGParts で最低限必要な部品について表 4.1 に示す．TAGParts はスマートフォンと通信し，情報の送受信を行う．このときの通信距離は長いほうが望ましい．よって本研究では UHF 帯で通信

<sup>1</sup><https://asreader.jp/rfid-asreader/asr-030d/>

表 4.1: TAGParts で用いる部品一覧

部品	説明
ANDY100	UHF 帯の RFID IC チップ．SPI ポートを備え，マイコンをスレーブとして接続できる．
MSP430	低消費電力マイコン．ディスプレイやセンサの制御を行う．
MAX6437	バッテリーマネジメント IC．MSP430 の最小定格電圧以上の電圧を与える．

する．そのため使用する RFID IC チップも UHF 帯用のものを使用する．またディスプレイやセンサを制御するため，IC チップはマイクロコントローラと通信可能である必要がある．そこで上記の仕様を満たした IC として Farsens 社の ANDY100<sup>2</sup> を選定した．この IC は SPI ポートを備えており，スレーブとして他のマイクロコントローラを接続することが可能である．また RFID で供給可能な電力は微弱であるため，マイクロコントローラも低消費電力で駆動可能なものを使用する．本研究では Texas Instruments 社の MSP430<sup>3</sup> を使用する．このマイクロコントローラは型番によって異なるが，概ねアクティブ時には数 100  $\mu$ A 程度の消費電力で駆動する [11]．最後にマイクロコントローラは最低動作電圧が設定されているが，この電圧を下回るとマイクロコントローラの動作が保証されず意図しない動作となる可能性がある．そこで供給可能な電圧が MSP430 の最低動作電圧である 1.8 V 以下となると 0 V を出力し，MSP430 の電源を切るようにする．そのためバッテリーマネジメント IC である Maxim Integrated 社の MAX6437<sup>4</sup> を用いる．

図 4.2 に TAGParts のブロック図を示す．ANDY100 の RF フロントエンドにはアンテナが接続されており，アンテナからの電流の整流などを行う．ANDY100 から出力される電圧は MAX6437 へと繋がれ，その出力電圧を MSP430 やディスプレイ，気温，加速度センサなどに供給する．MSP430 は ANDY100 と SPI で接続され，ANDY100 から送られる信号を処理する．MSP430 は ANDY100 から送られた信号を処理し，別の SPI ポートからディスプレイやセンサを制御する．

TAGParts は上記で述べた部品で作成するが，Farsens 社から ANDY100，MSP430，MAX6437 などが搭載された評価ボードである Medusa-M2233<sup>5</sup> が市販されている．プロトタイプとしての開発の容易さを考え本研究ではこれを利用する．

### 4.3 Medusa-M2233

Medusa-M2233 のアンテナ形状には二種類あり，それぞれアンテナが直線状 (ダイポールアンテナ) となっている Medusa-M2233-DKSWB と，蛇腹状のアンテナである Medusa-M2233-MKSWB が存在する．アンテナが蛇腹状であるとコンパクトになり小型に作成できるため，今回は Medusa-M2233-MKSWB を用いる (図 4.3)．Medusa-M2233 は前章で述べた MSP430 が搭載されている．

<sup>2</sup><http://www.farsens.com/en/products/andy100/>

<sup>3</sup>[http://www.ti-j.co.jp/lstds/ti\\_ja/microcontrollers\\_16-bit\\_32-bit/msp/overview.page](http://www.ti-j.co.jp/lstds/ti_ja/microcontrollers_16-bit_32-bit/msp/overview.page)

<sup>4</sup><https://www.maximintegrated.com/en/products/power/supervisors-voltage-monitors-sequencers/MAX6437.html>

<sup>5</sup><http://www.farsens.com/en/products/medusa-m2233/>

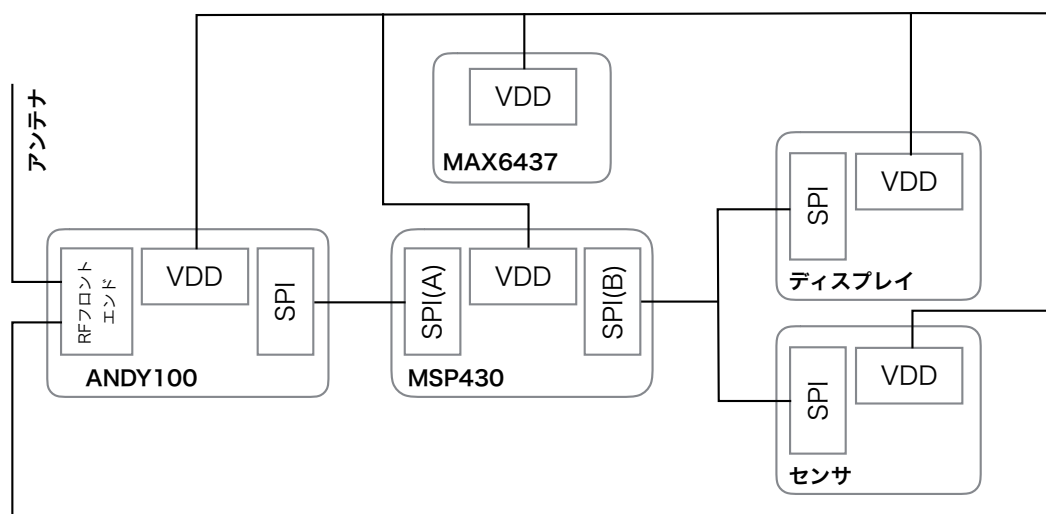


図 4.2: TAGParts のブロック図．アンテナからの電流は ANDY100 に供給される．ANDY100 は MAX6437 と繋がれ，その出力電圧を MSP430 やディスプレイ，センサへ供給する．また MSP430 にはディスプレイやセンサを接続し制御する．

MSP430 には様々な型番が存在するが Medusa-M2233 では MSP430G2233IPW20 が搭載されている．また前章で述べた物以外に，電力保持用の  $47\mu\text{F}$  のコンデンサやインピーダンスマッチングのためのインダクタなども搭載されている．

本研究ではこの Medusa-M2233 を用いて，情報の表示用に用いるディスプレイ付き TAGParts である TAGParts-Disp と気温や湿度，気圧が計測可能な TAGParts である TAGParts-Temp を作成した．続く節においてそれらについて詳しく述べる．

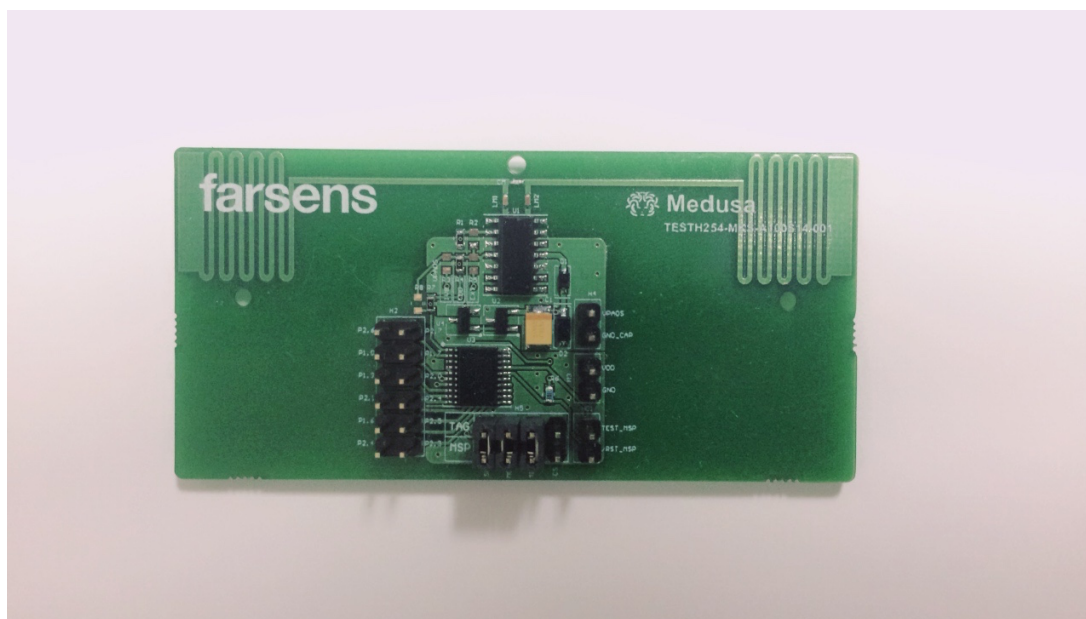


図 4.3: Medusa-M2233．ANDY100 の他に MSP430G2233IPW20 と MAX6437，コンデンサ，インダクタなどが搭載されている．アンテナは蛇腹状であり PCB アンテナとなっている．

## 4.4 TAGParts-Disp と TAGParts-Temp の実装

### 4.4.1 TAGParts-Disp

気温や加速度などの情報の表示に利用するため，TAGParts-Disp を作成した．RFID で給電できる電力は微力であるため，可能な限り消費電力が小さいものが望ましい．しかしスマートフォンやノートブックの消費電力の多くは液晶ディスプレイである事が示されている [12]．よって通常の液晶ディスプレイは消費電力が大きいため適さない．そこで，消費電力が小さい反射型メモリ液晶ディスプレイを用いる．反射型液晶はバックライトが不要であり，描画指示が無くても以前に描画した内容を保持することが可能である．本研究では，ジャパンディスプレイ社の LPM013M126A<sup>6</sup>を用いる．このディスプレイは  $176 \times 176$  ピクセル，194 dpi のカラー液晶であり，消費電力は静止画像の描画であれば  $2\mu\text{W}$ ，1 秒間隔の描画においても  $10\mu\text{W}$  である [13]．

<sup>6</sup><http://www.j-display.com/product/reflective.html>

Medusa-M2233 には MSP430 の IO ピンや電源用のピンヘッダが存在するが，本研究で作成するプロトタイプでは，ディスプレイ駆動回路をピンヘッダに被さるように外付けする．図 4.4 と図 4.5 に作成したディスプレイ駆動回路の回路図とボード図を示す．Medusa-M2233 と接続するためのピンヘッダ，LPM013M126A と接続するためのコネクタである FH28-10S-0.5SH<sup>7</sup>，ユーザからの操作を受け付けるスイッチ 2 つを搭載している．またディスプレイをより長く描画するために，100  $\mu$ F のコンデンサを 4 つ並列につなぎ，400  $\mu$ F のコンデンサとして接続することで電力を保持している．全体のコストは約 1 万円程度であった．

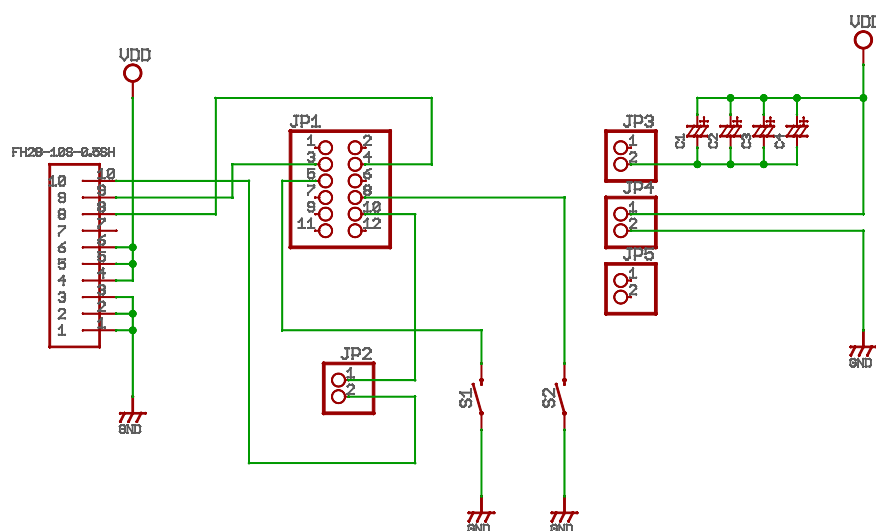


図 4.4: TAGParts-Disp のディスプレイ駆動回路の回路図．

実際に作成した TAGParts-Disp を図 4.6 に示す．ディスプレイは基板中央に搭載され，右下にはユーザからの操作を受け付けるタクトスイッチを 2 つ搭載する．このスイッチにより，前章の利用イメージのメールの確認のような操作が行うことが可能となる．

#### 4.4.2 TAGParts-Temp

気温を計測する TAGParts である TAGParts-Temp を作成した．ディスプレイと同様に気温センサも低消費電力であるものが好ましい．本研究では低消費電力の気温センサとして BME280<sup>8</sup> を使用する．このセンサは気温だけでなく湿度や気圧も同時に測定が可能である．気温と湿度，気圧の 3 つを 1 秒間隔で測定した際の消費電力は 3.6  $\mu$ A であり [14]，非常に低消費電力である．しかし BME280 のパッケージは Land grid array(LGA) パッケージであり，そのままでは実装が困難である

<sup>7</sup>[https://www.hirose.com/product/jp/products/FH28/FH28-10S-0.5SH\(05\)/](https://www.hirose.com/product/jp/products/FH28/FH28-10S-0.5SH(05)/)

<sup>8</sup>[https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all\\_products/bme280](https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme280)



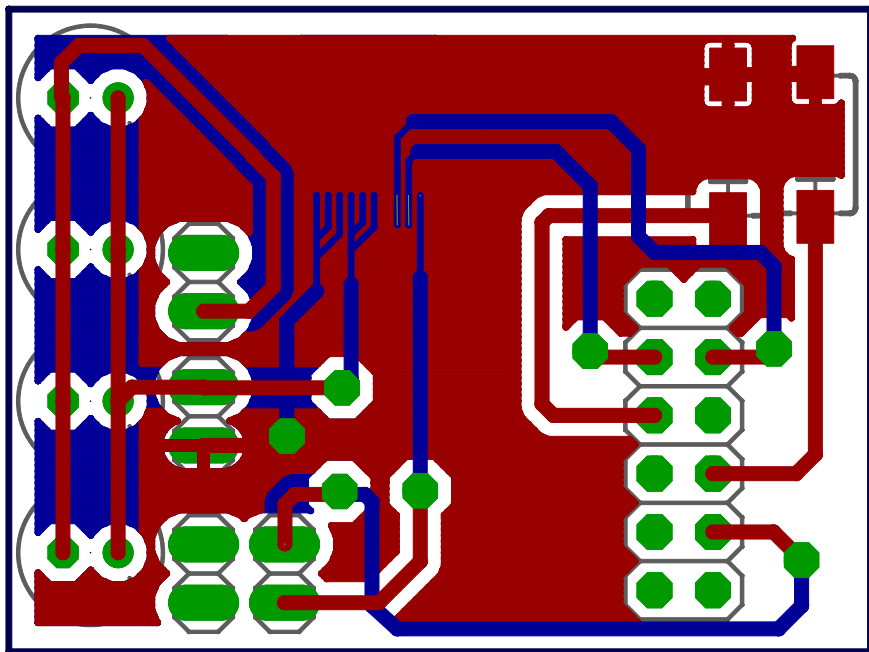


図 4.5: TAGParts-Disp のディスプレイ駆動回路のボード図 . Medusa-M2233 の上部に被さるように付けられる .

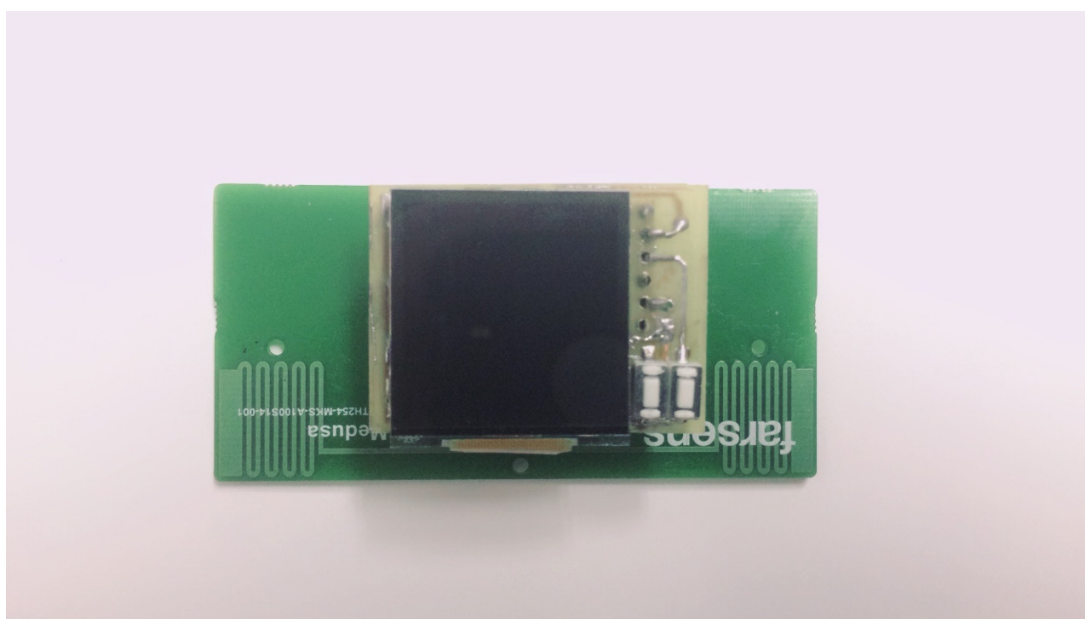


図 4.6: 作成した TAGParts-Disp . 中央にディスプレイ , 右下に操作用のスイッチを 2 つ搭載している .

ため , プロトタイプでは秋月電子から発売されているモジュールキット<sup>9</sup>を使用する . ディスプレイ駆動回路と同様に BME280 駆動回路も Medusa-M2233 に被さるように外付けをする .

図 4.7 と図 4.8 に作成したモジュールキット駆動回路の回路図とボード図を示す . TAGParts-Disp の場合と同様に Medusa-M2233 と接続するためのピンヘッダ , ユーザからの操作を受け付けるスイッチ 2 つ , 400  $\mu$ F のコンデンサを搭載している . 中央には BME280 モジュールキットが搭載されている . 全体のコストとしては 6 千円程度であった .

実際に作成した TAGParts-Temp を図 4.9 に示す . TAGParts-Disp と同様に , 右下にはユーザからの操作を受け付けるタクトスイッチを 2 つ搭載している .

---

<sup>9</sup><http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-09421/>



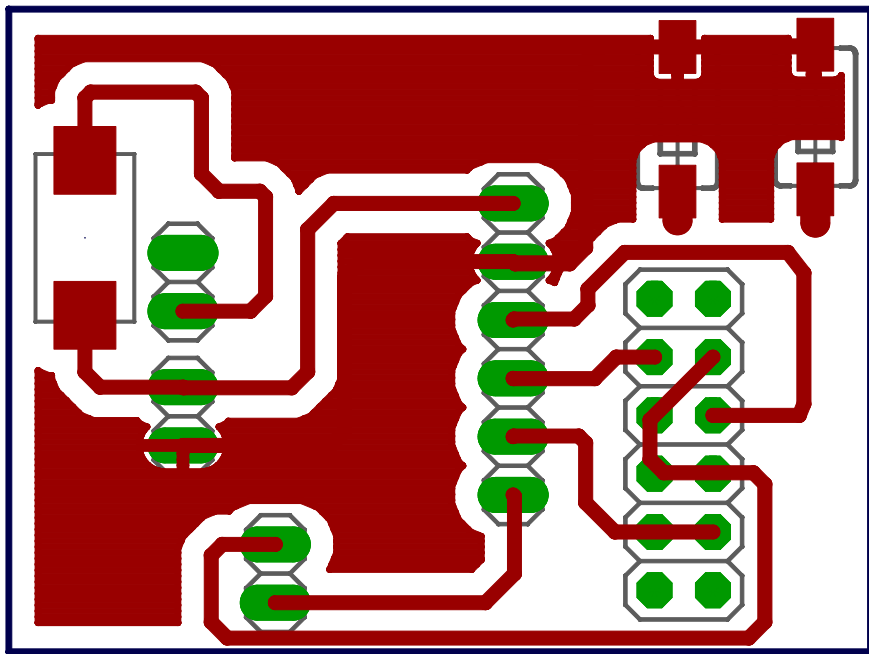


図 4.8: TAGParts-Temp の気温センサ駆動回路のボード図．Medusa-M2233 の上部に被さるように付けられる．

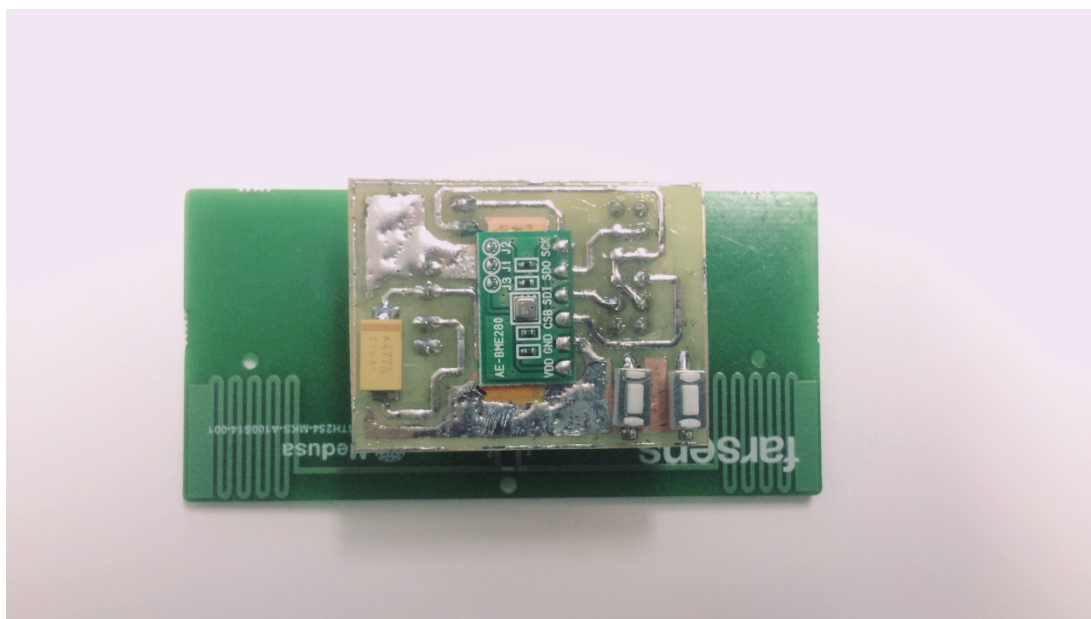


図 4.9: 作成した TAGParts-Temp . 中央に BME280 モジュールキット , 右下に操作用のスイッチを 2 つ搭載している .

## 第5章 実験

### 5.1 概要

本章では，4章にて作成したプロトタイプである，TAGParts-Disp と TAGParts-Temp の特性を評価する．評価する項目は以下の3つである

- 通信可能距離
- TAGParts-Disp の描画可能時間
- TAGParts-Temp の計測可能時間

### 5.2 通信可能距離の測定調査

#### 5.2.1 概要

本節では TAGParts-Disp および TAGParts-Temp の通信可能距離を評価する．また，比較のため Medusa-M2233 単体のみの通信可能距離の調査も行う．それぞれを三脚に図 5.1 の様に載せ，正面 ( $0^\circ$ ) からはじめ，地面と垂直な軸に  $30^\circ$  ずつ回転させる．RFID リーダおよびスマートフォンは地面と垂直に立て，TAGParts と同じ高さになるように調整する．リーダーから TAGParts へ read 命令を与え，ID を読み取ることが出来た時の TAGParts から RFID リーダまでの最長距離を読み取り可能距離とする．この時リーダーの出力電力は 24 dBm とする．

#### 5.2.2 結果と考察

図 5.2 と図 5.3，図 5.4 に Medusa-M2233 と TAGParts-Disp，TAGParts-Temp の読み取り可能距離の調査結果を示す．また結果の詳細な値は付録の表 A.1 に示す．

Medusa-M2233 では， $150^\circ$  および  $300^\circ$  の面がもっとも通信距離が長く，およそ 25 cm 程度であった．また側面方向である  $60 \sim 90^\circ$ ， $210 \sim 270^\circ$  の面は通信ができなかった．TAGParts-Disp では正面 ( $0^\circ$ ) および裏面 ( $180^\circ$ ) がもっとも読み取り距離が長くおよそ 20 ~ 25 cm であった．側面からでは通信可能距離が短くなり， $90^\circ$  近くになると読み取り距離が短くなった．特に  $270^\circ$  や  $300^\circ$  の角度からでは通信ができなかった．

また TAGParts-Temp においても同様の傾向が見られた．正面 ( $0^\circ$ ) と裏面 ( $180^\circ$ ) が最も通信距離が長く，およそ 30 cm であった． $90^\circ$  や  $270^\circ$  の近くでは通信距離が短くなったが，TAGParts-Temp では読み取ることができない角度が存在せず，最低でも 12 cm の距離で読み取ることが出来た．



図 5.1: 三脚にのせた TAGParts . TAGParts を図のように載せ , 地面と垂直な軸に回転させる .

TAGParts-Disp と TAGParts-Temp の顕著な違いとして、TAGParts-Temp はどの角度からでも読み取ることが出来たが、TAGParts-Disp は一部の角度からは読み取ることが出来なかった点にある。これは Mesusa-M2233 に載せた基板が RFID リーダからの電波を遮蔽していることが考えられる。TAGParts-Disp の通信できなかった面である 270° の面を見ると、電力保持用のコンデンサが 4 つ並んでいる。電波はアンテナとの間にグランドが存在すると遮蔽される。そのためコンデンサにつながる陰極側のグランドが電波を遮蔽し、読み取ることができなかったと考えられる。

また TAGParts-Disp や TAGParts-Temp は Medusa-M2233 よりも通信特性が良い結果となった。これは TAGParts-Disp や TAGParts-Temp は Medusa-M2233 に基板を取り付けて作成されているが、この基板にリーダからの電波が反射したため側面でも通信ができたと考えられる。

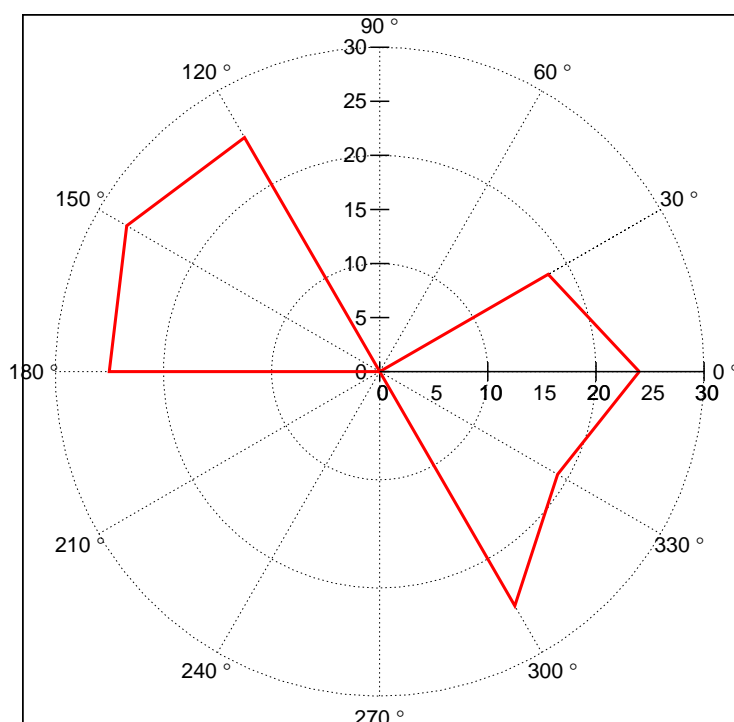


図 5.2: Medusa-M2233 の読み取り可能距離。グラフの半径が読み取り可能距離 [cm]，グラフの角度が三脚の回転角度 [°] である。

## 5.3 TAGParts の駆動可能時間の調査

### 5.3.1 TAGParts-Disp の描画可能時間の調査

TAGParts-Disp が電力供給を受けた時の、描画可能時間を調査する。プロトタイプで作成した TAGParts-Disp のディスプレイは低消費電力だが、描画内容の保持にわずかながらに電力を消費す



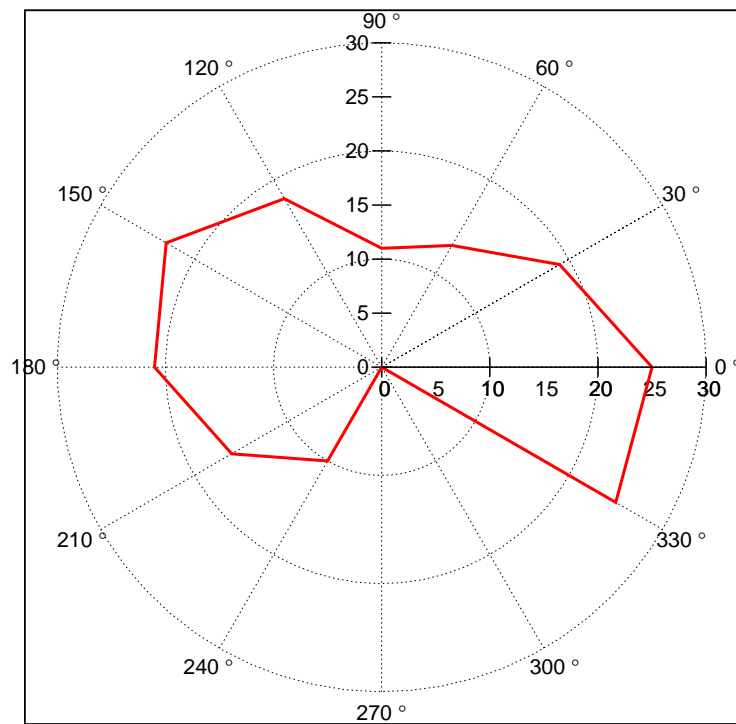


図 5.3: TAGParts-Disp の読み取り可能距離．グラフの半径が読み取り可能距離 [cm]，グラフの角度が三脚の回転角度 [°] である．

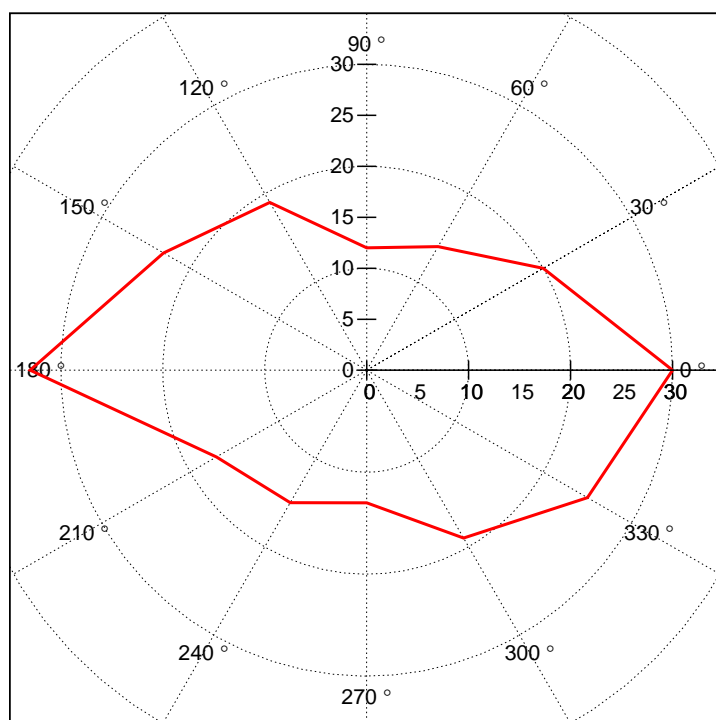


図 5.4: TAGParts-Temp の読み取り可能距離．グラフの半径が読み取り可能距離 [cm] , グラフの角度が三脚の回転角度 [°] である．

る．また画面の書き換え時にも書き換え面積に応じた電力を消費する．本研究では以下の3つの場合において調査した．

1. 全領域に白の静止画を描画
2.  $10 \times 176$  ピクセル領域を 1 Hz の周期で白黒反転
3. 全ての領域を 1 Hz の周期で白黒反転

一つ目の項目は、ディスプレイの全ての領域 ( $176 \times 176$  ピクセル) を全ての領域を白で塗りつぶし、その状態を保持できる時間を計測する調査である．二つ目の項目は、縦 10 ピクセル横 176 ピクセルの領域を白で塗りつぶし、その領域を 1 秒間隔で反転させ、何秒間反転し続けることができるかを計測する調査するものである．三つ目の項目は全ての領域を白で塗りつぶし、1 秒間隔で反転させ、何秒間反転し続けることが出来るかを計測する調査である．このとき TAGParts の電源の開放電圧がおよそ 3 V を出力するまでコンデンサに充電してから計測を開始する．計測には OWON 社のオシロスコープ PDS6062T<sup>1</sup> を使用した．

### 5.3.2 TAGParts-Disp の描画可能時間の調査結果

図 5.5 に上記 3 つの場合においての TAGParts-Disp のディスプレイ保持時間を示す．また、結果の詳細な値は付録の表 A.2 に示す．紫が全ての領域を白で塗りつぶした時のグラフ、緑が  $10 \times 176$  ピクセルを 1 Hz で白黒反転させた時のグラフ、水色が全ての領域を 1 Hz で白黒反転させた時のグラフである．TAGParts はバッテリーマネジメント IC により、MSP430 の最低動作電圧である 1.8 V 以下になると電圧が 0 V を出力するようにしている．そのためどの場合も 1.8 V を下回ると急激に 0 V を出力する．よって描画可能時間は 1.8 V あたりまでの時間となる．グラフから静止画の場合はおよそ 100 秒、 $10 \times 176$  ピクセルを 1 Hz で白黒反転させた場合は 52 秒、全ての領域を 1 Hz で白黒反転させた場合は 6 秒程度であることが読み取れる．

### 5.3.3 TAGParts-Temp の計測可能時間の調査

TAGParts-Temp が電力を受けたときの、測定可能時間を調査する．本研究では以下の 3 つの場合において調査した．

1. 1 Hz で計測
2. 8 Hz で計測
3. 50 Hz で計測

プロトタイプにて使用した BME280 は気温、湿度、大気圧が測定できるモジュールである．今回は気温と湿度、大気圧の 3 つを 1 Hz、8 Hz、50 Hz で同時に測定する．ディスプレイ描画可能時間調査と同様に TAGParts の電源の開放電圧がおよそ 3 V を出力するまでコンデンサに充電してから計測を開始した．また計測には OWON 社のオシロスコープ PDS6062T を使用した．

<sup>1</sup><http://www.owonjapan.com/html/modules/products/index.php/content0018.html>

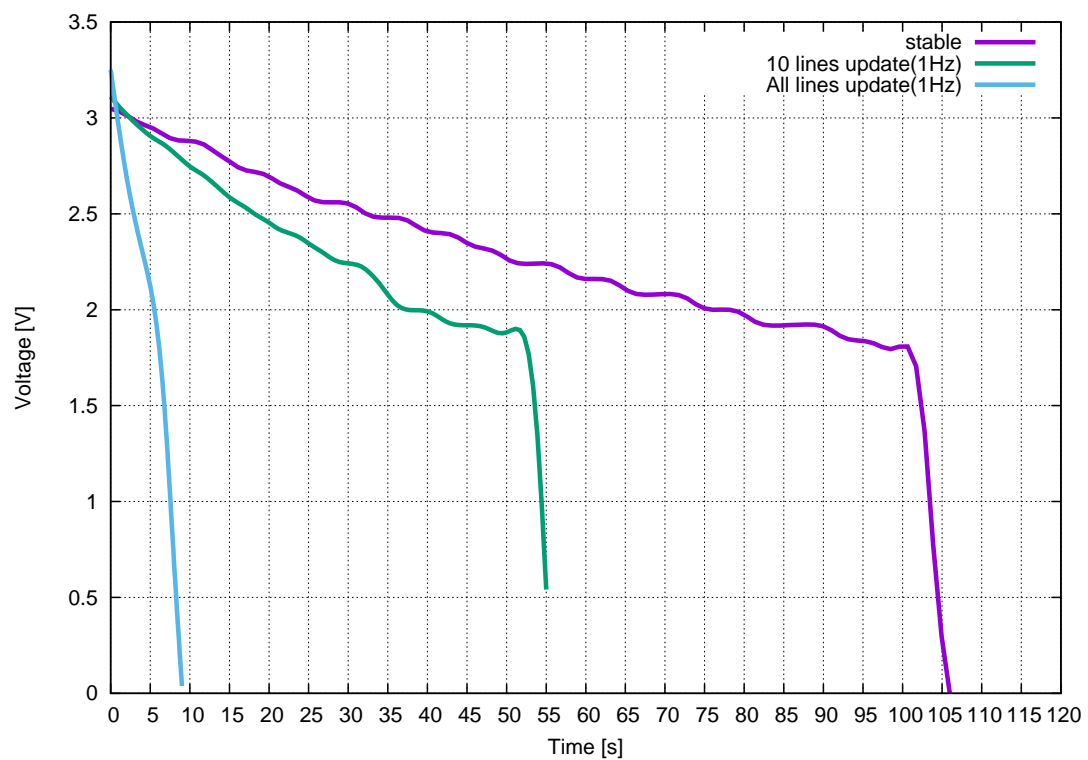


図 5.5: TAGParts-Disp のディスプレイ保持時間．横軸は時間，縦軸は Medusa-M2233 から出力される開放電圧である．紫が白の静止画を描画した時，緑が  $10 \times 176$  ピクセルを 1 Hz で白黒反転させた時，水色が全ての領域を 1 Hz で白黒反転させた時のグラフである．

### 5.3.4 TAGParts-Temp の計測可能時間の調査結果

図 5.6 に TAGParts-Temp の計測可能時間のグラフを示す．また，結果の詳細な値は付録の表 A.3 に示す．紫が 1 Hz，緑が 8 Hz，水色が 50 Hz で計測した時のグラフである．こちらも同様に 1.8 V あたりまでの時間を計測可能時間とすると，1 Hz の時は 31 秒，8 Hz の時は 11 秒，50 Hz の時は 4 秒である事が読み取れる．

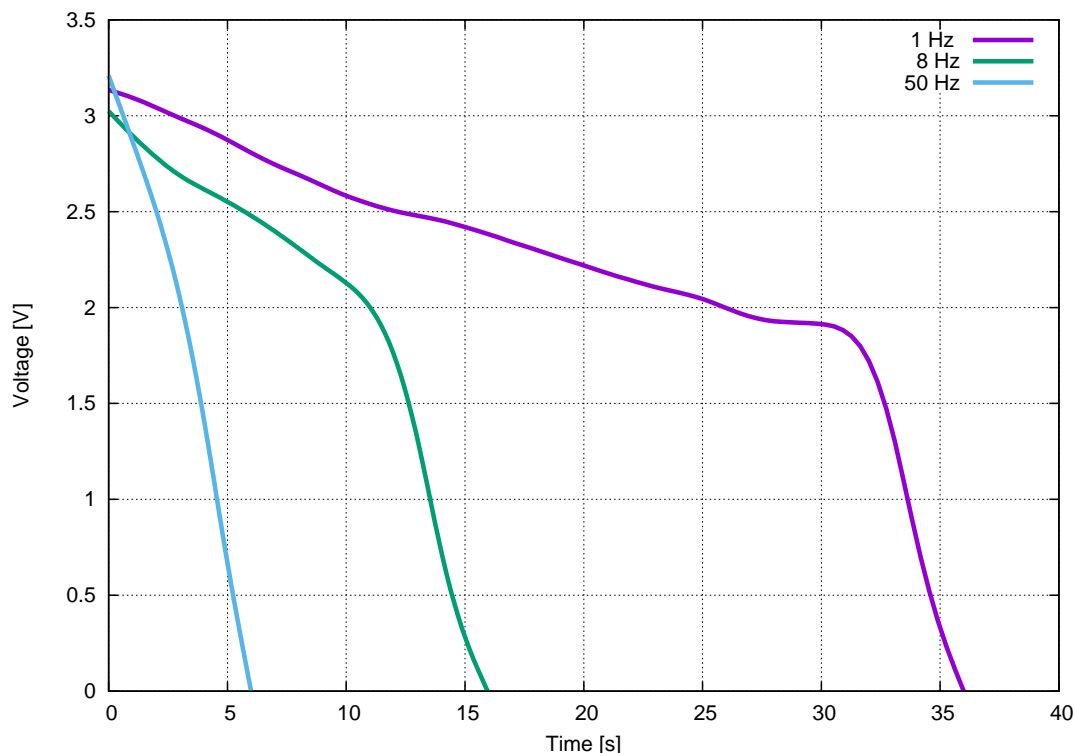


図 5.6: TAGParts-Temp の計測可能時間．横軸は時間，縦軸は Medusa-M2233 から出力される開放電圧である．紫が 1 Hz，緑が 8 Hz，水色が 50 Hz で計測した時のグラフである．

### 5.3.5 考察

TAGParts の駆動時間の 2 つの結果からも読み取れるように，大きな範囲のディスプレイの更新や，高頻度の計測は電力の消耗が激しくなる．これはディスプレイやセンサ自体の消費電力もあるが，SPI 通信に時間がかかり，そこで電力を消費してしまうことも要因の一つである．

特にディスプレイにおいては顕著であり，ディスプレイのデータシートによると，SPI 通信の最大クロック周波数は 10 MHz である．ディスプレイの更新は最低 1 ライン (176 ピクセル) からである．1 ライン更新するのに最低でも 26 バイト必要であり，全画面更新するには最低でも 4226 バイト必要である．よって SPI 通信では 1 クロックに 1 ビット送信するため，1 ライン更新するには最低でも  $20.8 \mu\text{s}$ ，全画面では  $3380.8 \mu\text{s}$  の時間を要する．

## 第6章 アプリケーション例

### 6.1 概要

4章で作成した TAGParts を用いて、以下の4つのアプリケーション例を作成した。本章ではこれらについて述べる。

- タイマーアプリケーション
- 賞味期限通知アプリケーション
- 気温通知アプリケーション
- メール通知アプリケーション

それぞれのアプリケーションは3章の利用イメージにて述べたアプリケーションである。本研究ではスマートフォン側のアプリケーションと TAGParts のファームウェアを作成した。作成したアプリケーションの画面を図 6.1 に示す。図 6.1 はアプリケーションのメイン画面であり、画面中の項目を選択することによりタイマーアプリケーション、賞味期限通知アプリケーション、気温通知アプリケーション、メール通知アプリケーションに遷移する。

### 6.2 スマートフォンアプリケーションの実装

スマートフォンアプリケーションは iPhone 5s 上で動作するアプリケーションである。アプリの作成には Objective-C、また RFID リーダである ASR-030D を利用するにあたり、Asterisk 社から配布されている AsReader SDK<sup>1</sup> を利用した。

SDK のマニュアル [15] によると、RFID リーダは RFID タグの ID やメモリの内容の読み取り (read)、IC 内のメモリヘデータの書き込み (write) などが出来る。本アプリケーションでは主にこの read と write を利用する。ID の読み取りは主に TAGParts の識別に用いる。本来 RFID は物体の識別などに用いるため、ID は固有のものとなっている。そのため、ID と TAGParts を対応付けることにより、読み取った ID から TAGParts-Disp や TAGParts-Temp を識別することができる。

また TAGParts-Temp の気温センサの値の読み取りやタクトスイッチの状態の読み取りは RFID リーダからの read 命令によって行われる。read 命令は読み取るメモリのアドレスを TAGParts へ送信することで行われる。TAGParts は送信されたアドレスから気温センサの値の読み取り、あるいはタクトスイッチの状態の読み取りの命令がきた事を判断し、応答を返す。

---

<sup>1</sup><https://developer.asreader.jp/sdk/second.php>



図 6.1: スマートフォンアプリケーションのメイン画面．上からタイマーアプリケーション，賞味期限通知アプリケーション，気温通知アプリケーション，メール通知アプリケーション画面へと遷移する．

TAGParts-Disp のディスプレイへの描画命令は write 命令が用いられる．write 命令は read 命令と異なりメモリアドレスだけでなくデータ内容も送信する．送信されたアドレスから，気温の表示やメール情報の表示の命令がきた事を判断し，命令に沿って送信されたデータの処理や表示を行う．

### 6.3 タイマーアプリケーション

作成した TAGParts-Disp を利用して，現在時刻を表示するタイマーアプリケーションを作成した．タイマーアプリケーションはスマートフォンから送信された現在時刻を表示するアプリケーションである．一度表示されると保持している電力が無くならない限り時刻を表示し続ける．TAGParts の MSP430 のタイマー割り込みにより，現在時刻が送信された後は自身のタイマーによって，表示する時刻を更新する．

まずスマートフォンアプリケーションを起動し，タイマーを選択する．その後そしてユーザは胸ポケットなどにスマートフォンを収める．その後腕に取り付けた TAGParts-Disp を時計を見るように胸の近くへ持ち上げる事により，スマートフォンと TAGParts-Disp が通信し，現在時刻を描画する．図 6.2 に実際に描画させたときの様子を示す．

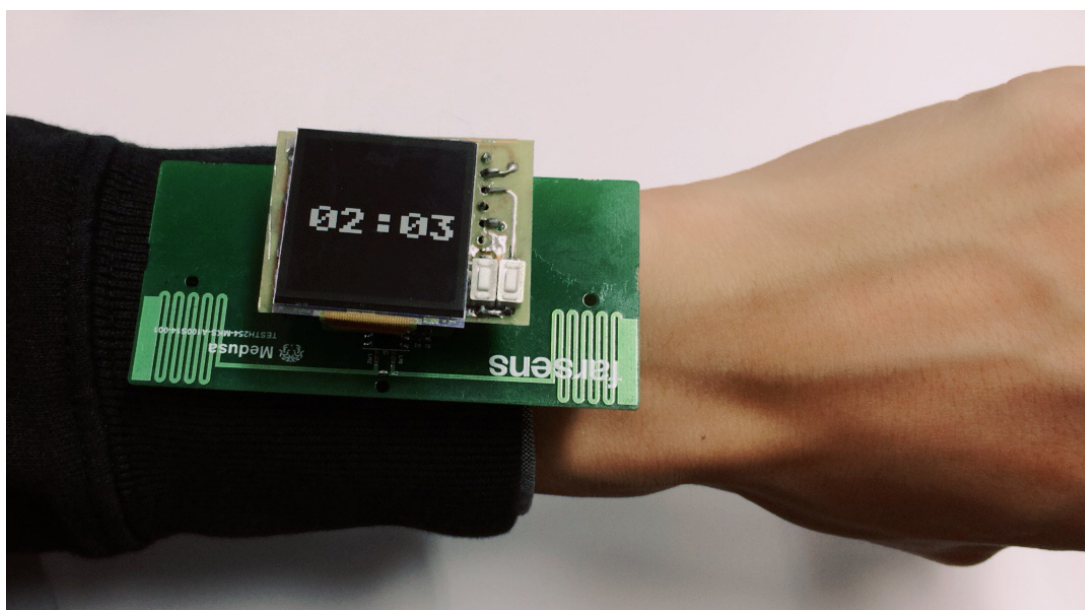


図 6.2: タイマーを表示したときの TAGParts-Disp．ディスプレイの中央に現在時刻が表示される．

### 6.4 賞味期限通知アプリケーション

TAGParts-Disp を利用して，賞味期限通知アプリケーションを作成した．このアプリケーションは冷蔵庫のジュースや野菜などの食材に TAGParts-Disp 貼り付け，賞味期限が近づくとその旨の通



知を行うアプリケーションである．TAGParts はバッテリーを搭載していないため，冷蔵庫などの温度の低い環境においても使用することが出来る．

まずアプリケーションを通じて TAGParts-Disp に食材の賞味期限を設定する．アプリケーション一覧から賞味期限通知アプリケーションを選択すると図 6.3 のような入力フォームのある画面が現れる．フォームから食材の賞味期限を設定し，TAGParts-Disp へと設定する．また賞味期限の通知もこの画面で行われる．スマートフォンは TAGParts-Disp から設定された日付を取得し，現在の日時と比較する．比較の結果，賞味期限が 7 日以内であれば，TAGParts-Disp へとその旨を送信し，表示させる．

図 6.4 に紙パックのジュースに TAGParts-Disp を貼り付け，実際に賞味期限までの残り日数を描画させたときの様子を示す．図中では残り 1 日で賞味期限が切れることを示している．

## 6.5 温度通知アプリケーション

TAGParts-Disp と TAGParts-Temp を組み合わせ，気温センサから取得した気温を TAGParts-Disp のディスプレイに表示するアプリケーションを作成した．まず TAGParts-Temp を気温を測定したい場所に設置する．その後アプリケーション一覧から気温測定アプリケーションを選択する．スマートフォンは TAGParts-Temp から定期的に気温を取得し，TAGParts-Disp に送信することで気温を表示する．図 6.5 に実際にドアに設置したときの様子を示す．図中上が TAGParts-Temp，下が TAGParts-Disp である．ディスプレイは気温センサから取得した温度である 16 °C を表示している．ディスプレイにはフォントの都合上「°C」ではなく「C」と表示している．

## 6.6 メール通知アプリケーション

TAGParts-Disp に未読メール情報を表示するアプリケーションを作成した．これはデスクトップ PC のディスプレイや机などに固定し，未読メールがあればそれが誰からのメールかを表示するアプリケーションである．未読メールが複数ある場合は TAGParts-Disp のタクトスイッチにより未読メールを順番に表示することが出来る．

まずスマートフォンからメールサーバに未読メールを定期的に取得し，TAGParts-Disp へ送信する．この時タクトスイッチに変化がなければ，1 通目のメール情報を送信する．もし未読メールが 2 通あり，スイッチに変化があれば，2 通目を送信する．このようにして表示する情報を切り替えることができる．また送信する情報は @ マーク以前の文字列，すなわちユーザ名を送信する．図 6.6 に，実際にデスクトップ PC のディスプレイの下部に TAGParts-Disp を貼り付け，未読メール情報を表示させている様子を示す．図中ではアカウント名 shin からメールが来ている事を示している．

●●●● SoftBank 2:39 96%

< アプリ一覧 賞味期限

2017/01/30

Done		
2014年	10月	27日
2015年	11月	28日
2016年	12月	29日
2017年	1月	30日
2018年	2月	31日
2019年	3月	1日
2020年	4月	2日

図 6.3: 賞味期限通知アプリケーション画面。画面中央の入力フォームに日付を設定し、Done ボタンを押すことにより TAGParts-Disp に賞味期限を設定できる。



図 6.4: ジュースの賞味期限の通知を行っている様子．紙パックのジュースに TAGParts-Disp を貼り付けている．ディスプレイは賞味期限が残り 1 日であることを示している．

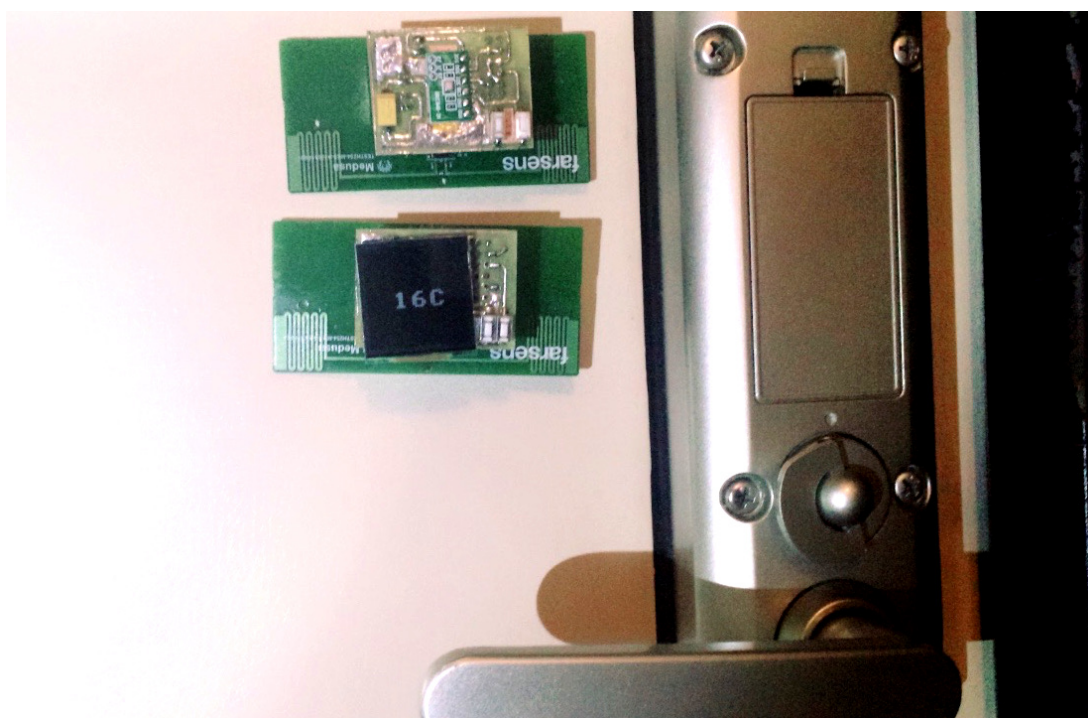


図 6.5: TAGParts-Temp と TAGParts-Disp をドアに設置し、温度を表示した様子．図中上が TAGParts-Temp，下が TAGParts-Disp である．ディスプレイは気温が 16℃ であることを表示している．

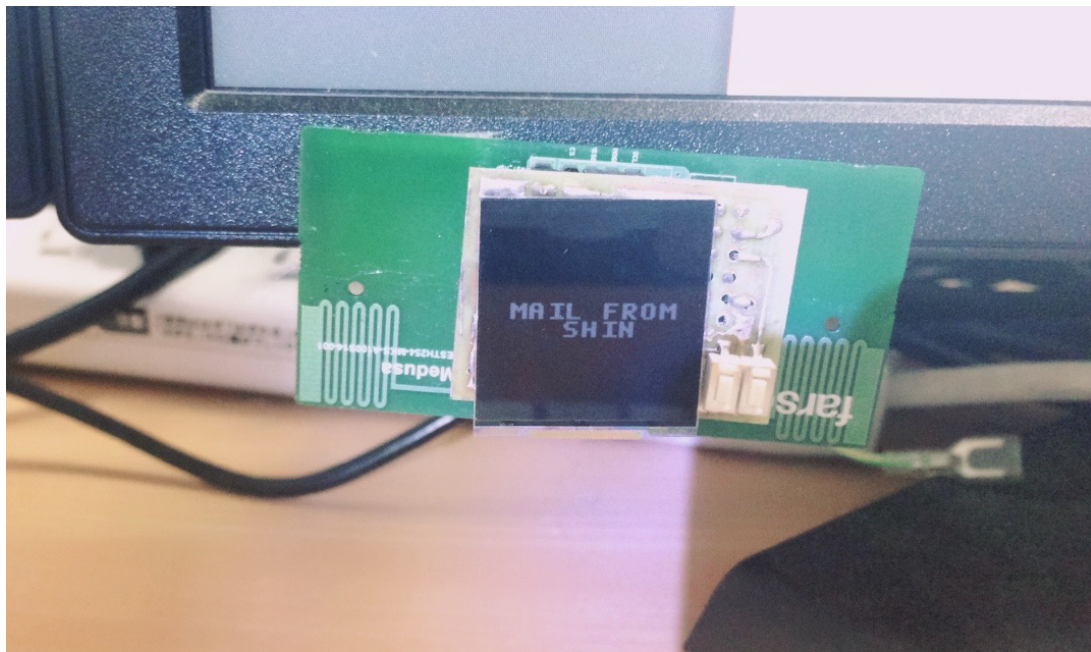


図 6.6: TAGParts-Disp に未読メールがある事を表示させた様子．デスクトップ PC のディスプレイの下部に TAGParts-Disp を貼り付け，未読メールの通知を行っている．図中では shin からメールが来ている．

## 第7章 議論

本章では本研究が提案する TAGParts のシステムについて議論する．

### 7.1 通信距離

本研究の実験において，TAGParts の通信距離は最長でも 30 cm であった．RFID リーダは 1 m 程度の距離で読み取れる性能があるが，大幅に減少した結果となっている．これは ANDY100 がある程度の十分な電圧を確保した後に応答を返す仕様となっているためである．今回はディスプレイやセンサの駆動時間を確保するために 400  $\mu$ F 程度のコンデンサを追加した．そのためコンデンサへ十分充電されるまで応答しない事になり，距離が短くなった．

しかし，これは一度充電されると電力を保持している間は遠ざけても応答を返す事ができることになり，トレードオフと言える．

### 7.2 設置箇所の限界

本研究で使用している UHF 帯は本来，水分の影響を大いに受ける．そのためアンテナが濡れてしまうような，雨の日の屋外や湿度の高い場所では設置が難しいという問題が考えられる．また身体においても，身体からの汗や油脂の影響により，TAGParts を身体に密着するように装着すると動作しないことが考えられる．そのため服の上に装着する事やマジックテープなどのバンドを身体との間に挟むなどの工夫が必要である．

### 7.3 コスト

作成したプロトタイプである TAGParts-Disp と TAGParts-Temp のコストはそれぞれ 1 万円，6 千円程度であった．この値段は身の回りに大量に設置するには高額である．また，利用した RFID リーダである RFID AsReader ASR-030D は約 11 万円であり，非常に高価であるため気軽に利用するには難しい．そのため本研究のシステムの発展にはコストの削減が大変重要である．

プロトタイプで利用している Medusa-M2233 は 4 千円程度であるが，搭載されている個々の部品自体は安価であり，数百円程度である．そのため Medusa-M2233 を利用せず作成した場合にはさらに安価に作成でき TAGParts-Disp では 7 千円，TAGParts-Temp では 4 千円程度にまで下げる事ができると考えられる．TAGParts-Disp において最も高価なものはディスプレイであり，約 5 千円

である．しかし気温センサやその他加速度センサなどは数百円から千円程度であるため安価に作成できると考えられる．

また RFID リーダは現在は需要が少ないため一般に普及するほど安価ではないが，今後普及するにつれて安価な製品が出回るであろうと考えられる．

## 第8章 結論

本研究では気温の計測やディスプレイの表示などの特定の機能をもった High-Function RFID タグを組み合わせることにより、環境のセンシングや情報の通知などを行うことができる TAGParts を提案した。本研究では文字や画像の表示を可能とするディスプレイ付きの TAGParts である TAGParts-Disp と、気温や湿度、気圧を計測することができる TAGParts である TAGParts-Temp の 2 つをプロトタイプとして作成した。さらに、開発したプロトタイプを利用して通信距離特性や駆動可能時間の調査を行った。

作成したプロトタイプを利用して、腕時計のように現在時刻を表示するアプリケーション、食材に貼り付け賞味期限が近づくとその旨を表示するアプリケーション、TAGParts-Disp と TAGParts-Temp を組み合わせ、ディスプレイに気温を表示するアプリケーション、未読メールを通知するアプリケーションの 4 つを実際に作成した。

現在のプロトタイプは Medusa-M2233 を使用し、その上に基板を追加している状態であり、アンテナの利得を下げているおそれがある。そのため今後は Medusa-M2233 を使用せずに作成し、アンテナ利得を下げないよう一体化した基板を作成する。また基板をフレキシブル基板とすることにより柔軟なデバイスとして作成することも考えている。こうすることにより設置面が曲面であっても装着することが可能となり、腕に装着するような場合でも邪魔にならないと考えられる。また、さらなるアンテナの利得向上について検討し、通信距離の向上を目指す。そして TAGParts を長期間使用してもらい実際に使用する上でどのような問題があるかの調査も行っていく予定である。

## 謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である高橋伸准教授，嵯峨智准教授，志築文太郎准教授には多大なご助力を賜り，感謝致します．特に高橋伸准教授には論文の執筆方法だけでなく，研究生活においても丁寧かつ熱心なご指導を賜りました．ここに深い感謝の意を表します．また，高橋研究室の皆様には，研究における様々なご支援を頂きました．特に UBIQUITOUS チームの皆様にはチームゼミをはじめ，論文執筆を行った際には多くのご助言や添削など，多くのご支援を頂きました．深く感謝いたします．また，回路製作を手伝って頂いた友人の磯村英和氏にも感謝致します．最後に，私の生活を支えてくださった家族や友人，研究においてお世話になった方々に深く感謝いたします．



## 参考文献

- [1] J. A. Paradiso and T. Starner. Energy scavenging for mobile and wireless electronics. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 4, No. 1, pp. 18–27, 2005.
- [2] Tobias Grosse-Puppendahl, Steve Hodges, Nicholas Chen, John Helmes, Stuart Taylor, James Scott, Josh Fromm, and David Sweeney. Exploring the Design Space for Energy-Harvesting Situated Displays. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, pp. 41–48, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [3] Chen Zhao, Sam Yisrael, Joshua R. Smith, and Shwetak N. Patel. Powering Wireless Sensor Nodes with Ambient Temperature Changes. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '14, pp. 383–387, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [4] Yoshihiro Kawahara, Hoseon Lee, and Manos M. Tentzeris. SenSprout: Inkjet-printed Soil Moisture and Leaf Wetness Sensor. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '12, pp. 545–545, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [5] Hanchuan Li, Eric Brockmeyer, Elizabeth J. Carter, Josh Fromm, Scott E. Hudson, Shwetak N. Patel, and Alanson Sample. PaperID: A Technique for Drawing Functional Battery-Free Wireless Interfaces on Paper. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 5885–5896, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [6] Katia Vega and Hugo Fuks. Beauty Tech Nails: Interactive Technology at Your Fingertips. In *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '14, pp. 61–64, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [7] Eugen Berlin, Jun Liu, Kristof van Laerhoven, and Bernt Schiele. Coming to Grips with the Objects We Grasp: Detecting Interactions with Efficient Wrist-worn Sensors. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, pp. 57–64, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [8] Alanson P Sample, Daniel J Yeager, Pauline S Powledge, Alexander V Mamishev, and Joshua R Smith. Design of an RFID-based battery-free programmable sensing platform. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 57, No. 11, pp. 2608–2615, 2008.

- [9] Y. Zhao, J. R. Smith, and A. Sample. NFC-WISP: A sensing and computationally enhanced near-field RFID platform. In *2015 IEEE International Conference on RFID (RFID)*, pp. 174–181, New York, NY, USA, 2015. IEEE.
- [10] Michael Buettner, Richa Prasad, Matthai Philipose, and David Wetherall. Recognizing Daily Activities with RFID-based Sensors. In *Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '09, pp. 51–60, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [11] MSP430 超低消費電力マイコン, 2013. <http://www.tij.co.jp/jp/lit/sg/jajb005i/jajb005i.pdf> 2017 年 1 月 30 日閲覧.
- [12] A. K. Bhowmik and R. J. Brennan. System-Level Display Power Reduction Technologies for Portable Computing and Communications Devices. In *2007 IEEE International Conference on Portable Information Devices*, pp. 1–5, New York, NY, USA, 2007. IEEE.
- [13] 1.28" Reflective MIP Color LTPS TFT LCD, 2016. [http://www.j-display.com/product/pdf/LPM013M126A\\_1.28.pdf](http://www.j-display.com/product/pdf/LPM013M126A_1.28.pdf) 2017 年 1 月 30 日閲覧.
- [14] BME280: Final data sheet, 2015. [https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\\_tech/media/datasheets/BST-BME280\\_DS001-11.pdf](https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280_DS001-11.pdf) 2017 年 1 月 30 日閲覧.
- [15] RFID AsReader SDK Manual for RFID, 2016. [https://developer.asreader.jp/sdk/rfid/rfid\\_sdk\\_manual.html](https://developer.asreader.jp/sdk/rfid/rfid_sdk_manual.html) 2017 年 1 月 30 日閲覧.

## 付 録 A 実験結果データ

### A.1 通信可能距離の測定調査結果

表 A.1: Medusa-M2233 と TAGParts-Disp , TAGParts-Temp の角度と通信距離

角度 [°]	Medusa-M2233 の 通信距離 [cm]	TAGParts-Disp の 通信距離 [cm]	TAGParts-Temp の 通信距離 [cm]
0	24	25	30
30	18	19	20
60	0	13	14
90	0	11	12
120	25	18	19
150	27	23	23
180	25	21	33
210	0	16	17
240	0	10	15
270	0	0	13
300	25	0	19
330	19	25	25

## A.2 TAGParts の駆動可能時間の調査結果

### A.2.1 TAGParts-Disp の描画可能時間の調査結果

表 A.2: TAGParts-Disp の経過時間と開放電圧

時間 [s]	白の静止画 [V]	10 × 176 ピクセル領域反転 [V]	全領域を白黒反転 [V]
0	3.040	3.120	3.280
1	3.040	3.040	2.960
2	3.040	3.040	2.640
3	2.960	2.960	2.480
4	2.960	2.960	2.240
5	2.960	2.880	2.080
6	2.960	2.880	1.920
7	2.880	2.880	1.840
8	2.880	2.800	0.160
9	2.880	2.800	0.160
10	2.880	2.720	
11	2.880	2.720	
12	2.880	2.720	
13	2.800	2.640	
14	2.800	2.640	
15	2.800	2.560	
16	2.720	2.560	
17	2.720	2.560	
18	2.720	2.480	
19	2.720	2.480	
20	2.720	2.480	
21	2.640	2.400	
22	2.640	2.400	
23	2.640	2.400	
24	2.640	2.400	
25	2.560	2.320	
26	2.560	2.320	
27	2.560	2.320	
28	2.560	2.240	
29	2.560	2.240	
30	2.560	2.240	

31	2.560	2.240	
32	2.480	2.240	
33	2.480	2.160	
34	2.480	2.160	
35	2.480	2.080	
36	2.480	2.000	
37	2.480	2.000	
38	2.480	2.000	
39	2.400	2.000	
40	2.400	2.000	
41	2.400	2.000	
42	2.400	1.920	
43	2.400	1.920	
44	2.400	1.920	
45	2.320	1.920	
46	2.320	1.920	
47	2.320	1.920	
48	2.320	1.920	
49	2.320	1.840	
50	2.240	1.840	
51	2.240	1.840	
52	2.240	1.840	
53	2.240	1.760	
54	2.240	1.760	
55	2.240	0.160	
56	2.240		
57	2.240		
58	2.160		
59	2.160		
60	2.160		
61	2.160		
62	2.160		
63	2.160		
64	2.160		
65	2.080		
66	2.080		
67	2.080		

68	2.080		
69	2.080		
70	2.080		
71	2.080		
72	2.080		
73	2.080		
74	2.000		
75	2.000		
76	2.000		
77	2.000		
78	2.000		
79	2.000		
80	2.000		
81	1.920		
82	1.920		
83	1.920		
84	1.920		
85	1.920		
86	1.920		
87	1.920		
88	1.920		
89	1.920		
90	1.920		
91	1.920		
92	1.840		
93	1.840		
94	1.840		
95	1.840		
96	1.840		
97	1.840		
98	1.760		
99	1.760		
100	1.760		
101	1.760		
102	1.760		
103	1.760		
104	0.160		

105	0.160		
106	0.160		

## A.2.2 TAGParts-Temp の計測可能時間の調査結果

表 A.3: TAGParts-Temp の経過時間と開放電圧

時間 [s]	1 Hz で計測 [V]	8 Hz で計測 [V]	50 Hz で計測 [V]
0	3.120	3.040	3.200
1	3.120	2.880	2.800
2	3.040	2.800	2.480
3	2.960	2.640	2.160
4	2.960	2.640	1.760
5	2.880	2.560	0.160
6	2.800	2.480	0.160
7	2.720	2.400	
8	2.720	2.320	
9	2.640	2.160	
10	2.560	2.080	
11	2.560	2.000	
12	2.480	1.840	
13	2.480	1.760	
14	2.480	0.240	
15	2.400	0.160	
16	2.400	0.160	
17	2.320		
18	2.320		
19	2.240		
20	2.240		
21	2.160		
22	2.160		
23	2.080		
24	2.080		
25	2.080		

26	2.000		
27	1.920		
28	1.920		
29	1.920		
30	1.840		
31	1.840		
32	1.840		
33	1.760		
34	0.400		
35	0.160		
36	0.160		