

## シェアサイクリングサービスのCtoC化を目指したプロトタイプの実装

風折晃輝\* 小高知宏\*\* 黒岩丈介\*\* 諏訪いずみ\*\*\* 白井治彦\*\*\*\*

### Implementation of a prototype aimed at CtoC of bike sharing

Koki KAZAORE\*, Tomohiro ODAKA\*\*, Jousuke KUROIWA\*\*

Izumi SUWA\*\*\*, Haruhiko SHIRAI\*\*\*\*

(Received February 1st, 2024)

In this research, we proposed a bike sharing service aiming at CtoC, and designed and implemented a prototype to realize the service. In recent years, bike sharing services that allow people to use bikes at any time and for any period of time have become popular worldwide, especially in Europe, the United States, and China. However, one issue is that it is still not as popular in rural areas as a whole compared to urban areas.

Therefore, in this study, we assumed that although the spread of bike sharing services is uneven between urban and rural areas, the distribution of privately owned bikes is not so uneven. The purpose of this study was to propose a bike sharing service that could be used and develop a prototype for its realization. This prototype was constructed by separating software and hardware. Regarding the hardware, we built a smart lock by incorporating a microcomputer and servo motor into an existing bike lock and adding optional authentication sensors. The software was constructed using two approaches: authentication using NFC and fingerprint authentication. As for the completed system as a whole, although we were able to build a prototype that could unlock and lock even when multiple authentication sensors were used, it could only be executed in a local environment, making it difficult to deploy it as a service. It can be said that there are still many points that need to be improved.

**Key words** : IoT, Smart Lock, Bike sharing

### 1. はじめに

近年、欧米や中国を中心として世界的に、自転車を好きなタイミングで好きな期間利用することができる

\*1大学院工学研究科 知識社会基礎工学専攻

\*\*Fundamental Engineering for Knowledge-Based Society, Graduate School of Engineering

\*\*\*知能システム工学講座

\*\*\*\*Department of Human and Artificial Intelligent Systems

\*\*\*\*\*仁愛女子短期大学生活科学学科

\*\*\*\*\*Jin-ai Women's College

\*\*\*\*\*工学部技術部

\*\*\*\*\*Technical Division

シェアサイクルサービスが普及している<sup>[1]</sup>。しかし、都市部と比較して人口の少ない地方では駅前などの比較的栄えている部分でのみサービスが展開されていることはあれど、地方全体としてはまだまだ普及していないという課題が挙げられる。原因としては、自転車を設置するポートを新設したとしても利用者数が少ないために採算が取れないことが考えられる。

しかし、地方であったとしてもシェアサイクルサービスを利用したいという需要は必ず存在していると感じる。例えば、徒歩圏内にあるコンビニエンスストアへ行きたいが時間は無い状況が一例として挙げられる。今すぐに少しでも自転車を借りたい場合、すぐそばにシェアサイクルサービスを利用することのできる環境

が整っていれば便利であろう。

また、自転車を借りる立場からのシェアサイクルだけでなく、自転車を貸す立場からのシェアサイクルにも一定数の需要があるのではないかと考える。例えば、自転車を所有しているが、普段ほとんど使用することがなく、駐輪場に放置されている自転車を例に挙げる。普段使用していない自転車をシェアサイクルサービスの1つの自転車として他人に貸し出すことによって、自転車を有効活用できる。ひいては、使われていない自転車がゴミとして処分されることを防ぎ、環境にも好影響を与えるかもしれない。

その上、これらの個人所有された自転車は、都市部と地方との偏りが比較的少なく、基本的にどこにでも分布している。

本研究では、個人所有の自転車を個人間でシェアすることのできるシェアサイクルサービスを提案し、それを実現するためのプロトタイプを実装する。前述したように、地方でシェアサイクルサービスが普及しない原因として採算性が悪い点が考えられる。しかし、個人所有の自転車をシェアする場合については、予めシェアするための自転車を用意する必要が無いため、初期費用がかなり抑えられることが期待される。また、個人所有の自転車を駐輪している駐輪場が、一般的なシェアサイクルサービスにおけるポートのような存在になるため、新しくポートを確保するための手間や費用も抑えられる。なおかつ、あらゆる場所をポートととして捉えることができる。本研究では提案するサービスを実現するためのスマートロックプロトタイプについては、認証手法としてNFC(Near Field Communication)と指紋認証の2種類を用いることとし、プロトタイプとしての拡張性についても配慮したシステムを構築する。

## 2. 既存のシェアサイクリングサービスについての課題とソリューション

シェアサイクルとは、「相互利用可能な複数のサイクルポートが設置された、面的な都市交通に供されるシステム」<sup>[2]</sup>と定義されており、自転車が設置されているサイクルポートを起点として、直接的には繋がりのない他者同士がその自転車をシェアリングするシステムを指す。PR Times<sup>[3]</sup>によると、世界におけるシェアサイクル市場規模は、2019年に34.9億ドルであったのに対し、2027年には698万ドルに達すると試算しており、成長産業であることが窺える。そのようなシェアサイクルを提供している既存のサービスとして「LUUP<sup>[4]</sup>」や「ドコモバイクシェア<sup>[5]</sup>」等のサービスが挙げられる。これら既存のシェアサイクルサービスを比較する

と、サービスを利用する際のトリガーとして用いられるものは、ICカードやQRコード、Bluetoothが多い。これらのトリガーと共に専用のアプリケーションを用いて施錠や解錠を行ったり、利用予約ができたりする。また、これらのサービスではそれぞれのベンダーがサイクルポートを設置し、そのサイクルポートに自転車を準備することによってユーザーにサービスを提供する構造になっているため、自ずと人口が多くて需要の高い都市部や主要な駅周辺において中心的にサービスが提供されやすい形態となっている。一方で、比較的需要の低いとされている人口の少ない地方や駅から離れた地域ではシェアサイクリングサービスが提供されていないことが多く、そのような地域でも一定の需要は存在すると考えられる中で、シェアサイクリングサービスを利用したい人が利用できない状態に陥っている。これは、地方や田舎・離島地域におけるシェアサイクリングの普及の遅れが移動手段の選択肢を限定し、地域住民のモビリティの質を低下させる一因となっている可能性が示唆される。このような背景からシェアサイクリングサービスの地域間格差を是正し、より包括的な交通ネットワークを構築することが必要不可欠である。

そこで、シェアサイクリングサービスが普及していない地域ではそのサービスを利用したい需要に対応できない点を課題として挙げ、その課題を解決するためのソリューションとなる、自転車の個人間シェアリングを可能とすることを目指すIoTシステムの開発を行った。図1に一般的な既存のシェアサイクリングサービスの形態を示す。前述した通り、ベンダーから提供される自転車ポートをベースとして利用者がサービスを利用する。一方で、本研究で想定するサービスの概要図は図2のようになる。図2のようなモデルでは個人所有の自転車が駐輪されている駐輪場をベースとして利用者がサービスを利用することを想定している。図1で示している自転車ポートの設置分布と比較して図1で示す駐輪場の設置分布はより広範な地域を網羅できていると想定されるため、シェアサイクリングサービスを利用したいユーザーが、そのサービスが普及していない地域でも利用することができ、課題の解決につながると期待できる。また、ステークホルダーに含まれる、自転車を貸し出す側の個人所有者についても、所有している自転車を使っていない間に有効活用できる点において付加価値を提供できると考える。



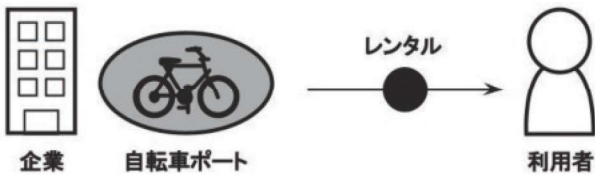


図1 既存のBtoCによるサービスモデル

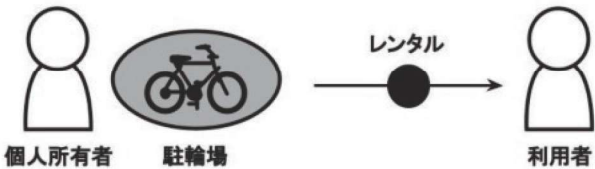


図2 構築するCtoCによるサービスモデル

### 3. システム構成

本研究において構築するシステム構成の全体像を、既存のシェアサイクルサービスと比較して図3に示す。既存のシェアサイクルサービスではベンダーが提供しているシェアサイクルポートの設置位置に依存してサービスが展開される。一方で、本研究において構築するサービスモデルでは個人所有の自転車が駐輪されている駐輪場に依存してサービスを展開することが可能である。それ故に、個人所有の自転車で用いられているそれぞれの鍵の形態を考慮する必要があるが、ここではプロトタイプ提案として一般的な自転車に標準装備されているシリンダー式のリング錠を前提としてシステムを構成することとする。

図3に示したようなシステムを構成するにあたって自転車の鍵をスマートロック化し、利用するユーザーに応じてスマートロックを解錠する必要がある。そこで、本研究ではNFCを用いたスマートロックの認証と指紋を用いた生体認証の2つのパターンからそれぞれアプローチする。それぞれの認証についてのシステム構成の詳細は3.1節と3.2節にて後述する。

本研究にて想定する具体的なシステムの利用順序を図4に示す。構築したスマートロックを自転車のオーナーが自身の自転車に取り付け、専用のモバイルアプリにて、利用を希望しているユーザーが利用しても良い時間帯を予め登録しておく。ただし、本研究においてはこのモバイルアプリの構築は対象外とし、スマートロックのプロトタイプに限定している。

その後、ユーザーは利用したい際にモバイルアプリから利用したい時間帯とマッチする自転車を探し出し、利用の申請をする。

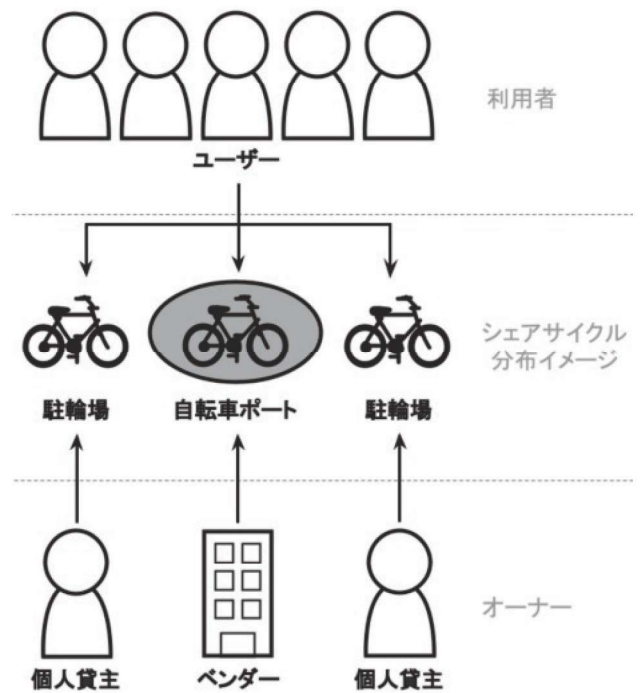


図3 本研究において構築するシステム構成の全体像



図4 想定するシステム利用手順概要図

#### 3.1 NFCによる認証

NFCによる認証をベースとした自転車のスマートロックシステムの概要を図5に示す。NFCとは近距離無線通信 (Near Field Communication) を意味し、電子機器間の数センチメートル範囲内で発生する電磁誘導に起因してそれらの機器間の通信を可能とする<sup>[6]</sup>。そのNFC技術が用いられているNFCタグをスマートロックと連携することによって自転車の鍵を解錠する仕組みを構築する。想定する具体的な認証手順としては、まず、NFCを用いた自転車の鍵を自転車のオーナーが自身の自転車に取り付け、別途用意するアプリケーション上でユーザーが利用可能な時間を予め設定しておく。次に、ユーザーは、利用したいタイミングでそのアプリケーションから利用したい希望の時間帯とマッチする自転車を

探し出し、利用申請する。自転車の鍵には NFC の他、マイコンやサーボモータを組み込み、スマートフォンが NFC にかざされ、認証されるとサーボモータが回転し、解錠する。

具体的な認証手順については、主に Blynk と IFTTT と呼ばれる 2 つの外部アプリケーションと連携して自転車の鍵に組み込まれている ESP32 マイコンと通信する。解錠する場合と施錠する場合で呼び出す IFTTT API が異なるため、それぞれの処理を実施するための NFC タグを別で計 2 枚準備する。それぞれのアプリケーションの詳細や実装については 4.2 節にて後述することとする。

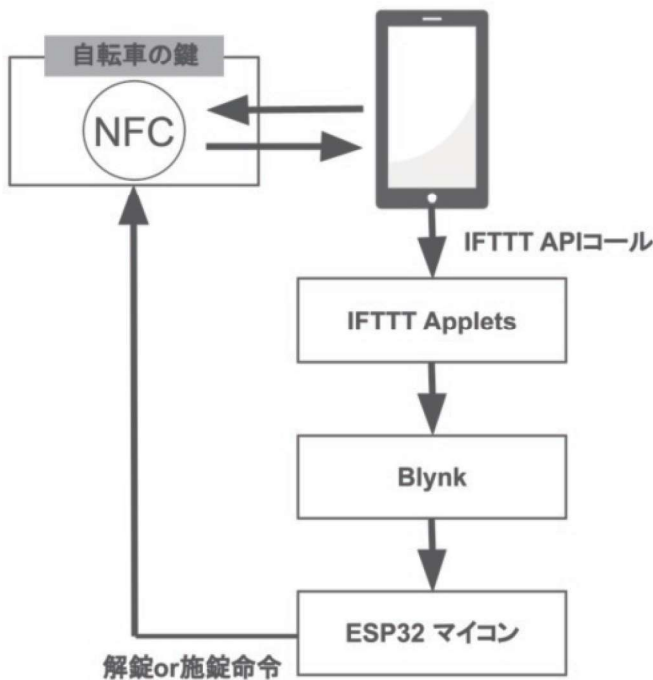


図5 NFC認証をベースとしたスマートロックの概要図

### 3.2 指紋による認証

指紋による認証をベースとした自転車のスマートロックシステムの概要を図6に示す。多くの指紋認証センサーにおけるセンサーモジュール内部は図6に示すようにセキュアに指紋情報を管理するため、その指紋認証センサーを1つのモジュールとして指紋の登録や保存、認証といった一連の動作が指紋認証センサー内で完結するように組み込まれている。つまり、指紋認証センサーにかざした指の指紋が、既に登録されている指紋かどうかを判定し、その結果のみが戻り値として通信される。そのため、認証結果としてマイコンが指紋認証センサーから受け取る値は真偽値のみであるため、生体認証情報の漏洩リスクに関してはある程度担保されている。

ESP32 マイコンの解錠処理では、指紋認証センサーから取得した真偽値を元に自転車の鍵に組み込まれたサーボモーターを回転させて解錠するかどうかを処理する。3.1節にて前述した通り、NFCによる認証を行う場合は解錠する場合と施錠する場合でそれぞれの NFC タグを用意し、処理を分けることができていたが、指紋による認証の場合、1つの指紋認証センサーで解錠処理と施錠処理を分けることができず、また、それぞれの処理のために2つ準備することも現実的ではないため、時間差でサーボモーターが元の位置に戻り、いつでも施錠することができる状態となる。

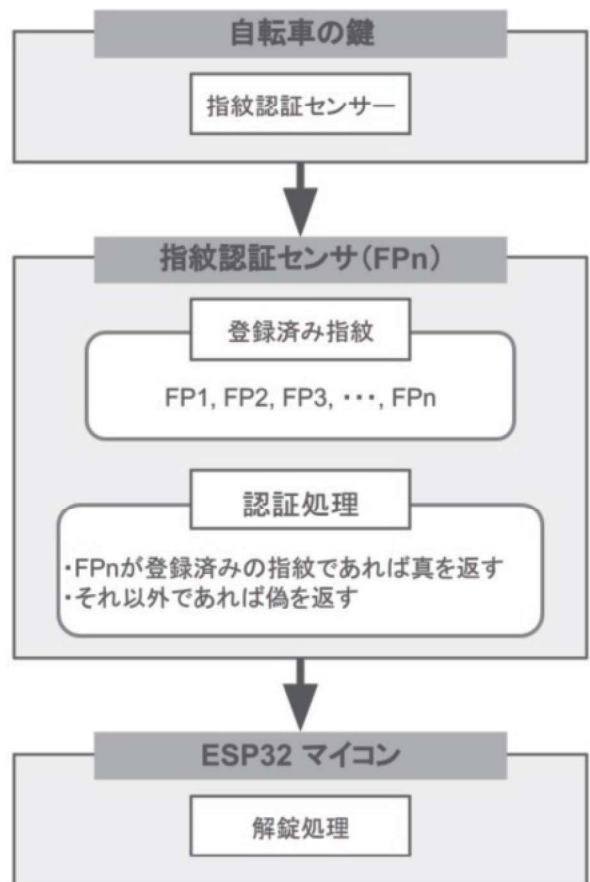


図6 指紋認証をベースとしたスマートロックの概要図

## 4. 実装

本研究におけるプロトタイプの実装については、ハードウェアとソフトウェアのそれぞれについて切り分けて実装する。ハードウェアにおいては自転車の鍵をスマートロックとして解錠・施錠の最低限の動作の確認ができるベースを構築する。ソフトウェアにおいては2種類の認証手法を実装し、それぞれ解錠・施錠の処理が実行できるよう構築する。全体として、極力拡張性を持たせた自転車の鍵におけるスマートロックのプロ



トタイプとなるよう構築する。

#### 4.1 ハードウェア

3.章でも述べた通り、一般的な自転車に標準装備されているシリンダー式のリング錠をベースとして、ESP32 マイコンやサーボモーターを組み込み、スマートロックを構築する。NFC による認証と指紋による認証はそれぞれ構築したスマートロックの右上に NFC タグや指紋認証センサーを組み込み、解錠するためのトリガーとする。ハードウェア全体としてのプロトタイプは図7のようになる。図7では認証手法に NFC を用いた場合の様子であるため、スマートロックの右上に NFC タグを組み込んでいるが、認証手法に指紋認証を用いる場合は図7で NFC タグが組み込まれている部分を指紋認証センサに置き換えれば良い。

この自転車のスマートキーを解錠させる仕組みとしては、マイコンで制御されたサーボモーターの回転数によって物理的に鍵を回転させる手順となる。この際にサーボモーターのトルクを無駄なく鍵の回転に利用するため、1立方センチメートル程度の大きさの木材を支柱として鍵に対して対角線上に取り付ける。このようにすることでサーボモーターの回転を間接的に利用することができる。



図7 スマートロックのハードウェア全体像

#### 4.2 ソフトウェア

ソフトウェアの実装については、NFC による認証と指紋による認証で異なるため、それぞれについて言及する。

まず、NFC 認証の場合のソフトウェアの実装については、3つの外部アプリケーションを利用して構築する。

1つ目は、Web アプリケーションや Android/iOS アプリケーションを用いて電子機器を遠隔操作することができる IoT プラットフォーム「Blynk」である。Blynk のアプリケーション上で、遠隔操作する対象となるデバイスを追加する必要があるため、ここでは ESP32 マイコンを対象デバイスとして追加し、接続方法は Wi-Fi として設定する。続いて、実際に Blynk プロジェクトを構築するため、提供されている Button ウィジェットを画面に追加し、そのウィジェットに対するピン番号を V0 として設定する。設定完了後の Blynk プロジェクト画面は図8のようになる。設定後発行されるトークンと Blynk-TEMPLATE-ID, Blynk-DEVICE-NAME を ESP32 マイコンに書き込むプログラムで指定することで ESP32 マイコンと Blynk との双方向通信が可能となり、遠隔で操作できるようになる。

2つ目は、IoT 機器と Web アプリケーションとの連携を自動化できるアプレットを備えたトリガーアクションプログラミングプラットフォームである「IFTTT」である。本研究で構築する IFTTT のアプレットでは、Web リクエストによって様々なトリガーアクションを指定することのできる Webhooks をサービスとして選択して作成する。なお、解錠する場合と施錠する場合で実行する Web リクエストが異なるため、それぞれ別のアプレットを作成する。IFTTT 上で作成したアプレットは図9のようになる。図9の「If」の部分ではアプレットが実行されるためのトリガーとなる Webhooks を設定する。このトリガーは、スマートフォンを NFC をタグにかざした際に発火し、ウェブリクエストを受け取ることとなる。続いて、図9の「Then」の部分ではアクションとして「Make a web request」を選択肢の中から選択し、Blynk に対して呼び出す API リクエストのメソッドとエンドポイントとなる URL を設定する。エンドポイントに関しては、Blynk プロジェクトのリージョンコード、Auth Token, ピン番号をパラメータとして指定する必要がある。解錠を行う場合については、Blynk のクラウドサービスの特定のリージョンコードを含む API エンドポイントに対して、認証トークンとピン番号をパラメータとして含めたリクエストを送信する。具体的には、ピン番号を 1 に設定した状態でリクエスト実行する。一方で、施錠を行う場合については、同じ API エンドポイントに対して、ピン番号を 0 に設定してリクエストを送信する。

3つ目は、iOS スマートフォンにデフォルトでインストールされている Shortcuts application を用いる。今回の実装においては iOS が搭載されているスマートフォンを用いているため Shortcuts application を用いるが、Android OS が搭載されているスマートフォンの場合は



この限りではない。ここではオートメーションを作成し、トリガーとなる特定の NFC タグと実行される処理を紐付ける設定を行う。オートメーションでは主に3つのアクションを指定する。1つ目のアクションでは「Text」を選択し、前述した IFTTT アプレットを実行するための API エンドポイントとなる URL を設定する。

一方で、指紋による認証を用いたソフトウェアの実装については外部アプリケーションを利用せずに指紋認証センサーを用いてネットワークに接続しなくても動作確認ができる状態を構築する。制御方法の概要については図6にて示した通りであるが、ここではより具体的に説明を加える。

NFC 認証を利用したスマートロックの実装との差分は指紋認証センサとその配線にあるためそれぞれについて説明する。指紋認証センサーは光学式指紋認証センサーモジュール (ZFM-70 シリーズ) を用いて、センサーの 5V と GND の配線についてはマイコンの該当する 5V ピンと接地ピンに接続する。センサーの受信コード (Rx) と送信コード (Tx) についてはマイコンの任意のピン番号に接続する。なお、本実装についてはそれぞれ 19 番ピンと 18 番ピンに接続する。マイコンに書き込むプログラムについては主に指紋の入力・認証処理・モーター回転命令出力の3つに大別される。また、それらとは別に予め指紋登録用のプログラムを書き込むことによって指紋認証センサー上に認証するための指紋情報を登録する。

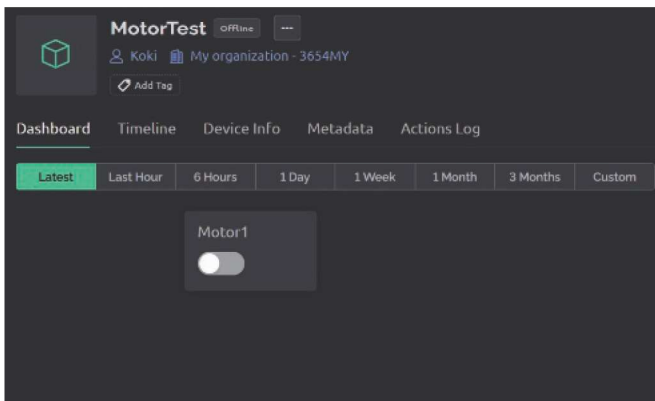


図8 Blynk プロジェクト作成画面

## 5. 考察

ハードウェアについては、サーボモーターと一般的な自転車に標準装備されているシリンダー式のリング錠をベースとして構築し、その上に NFC タグや指紋認証センサーを組み込み、解錠と施錠を制御するためのスマートキーのプロトタイプを作成した。認証手法に

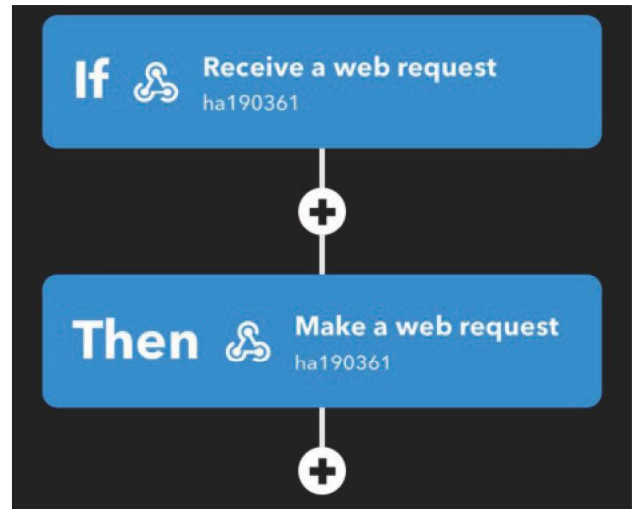


図9 IFTTT を用いて作成したアプレット全体像

ついて、NFC 認証と指紋認証の異なる2つの手法を組み込む試みに対して、サーボモーターとシリンダー式リング錠をベースとした同一のハードウェアを用いて大抵の部分を実装することができた点はハードウェアとしてのプロトタイプの拡張性の面において評価できるポイントであると考えられる。一方で、物理的な破損リスクに対してのリスクヘッジや、シリンダー式リング錠ではないタイプの自転車鍵に対しての拡張性についてはまだまだ課題が残る。

ソフトウェアについて、NFC を用いた制御では主に iPhone の Shortcuts application, Blynk, IFTTT のアプリケーションを組み合わせ、ローカル環境で施錠と解錠を行うためのシステムを構築した。ローカル環境に限定されてはいるものの、スマートフォンを NFC タグにかざすことによりシームレスに解錠と施錠を行うことができたため、実際に利用する際にはストレスなく利用できる状態であると期待される。しかし、様々なアプリケーションを経由して操作を実行しているため、冗長的になっている可能性もある。利用しているアプリケーションに依存したシステム構成となっているため、それらの接続が不安定であったり、サービスが停止してしまうと、本システムが成り立たない可能性も示唆される。実際にソフトウェアを構築する中で、利用したソフトウェアの1つである IFTTT がシステムダウンし、アプレットを作成することができなかった期間があった。システムが冗長的になるとそのようなリスクも考慮しなければなくなるため、よりシンプルな構築方法も検討していくべきであると考えられる。加えて、NFC タグについても、施錠と解錠でタグを分離している点が冗長的であると考えられる。1つの NFC のタグで2つの操作を区別しているようなシステム構成についても検



討していくべきである。また、4.2節でも紹介したとおり、ESP32の接続方法を「Wi-Fi」と設定しているが、サービスとして運用する場合について考えると、Wi-Fiの無い環境下での利用の方が多くことが想定されるため、IoT向けのSIMカードを用いた通信についても将来的には検討しなければならない。

指紋認証を用いた制御ではスマートロックの認証システムとしての一連の流れやユーザーに価値提供できる最小限のプロダクトとなり得る軸としてのシステムを構築することはできたものの、認証に関しては予め設定されたごく限られたユーザーにしか利用することができず、サービスとして機能するための拡張性の面では多くの課題が残る状態である。

## 6. まとめ

個人が所有している自転車を共有するための新たなシェアサイクルサービスについて提案し、サービス実現のためのシステムのプロトタイプ的设计と実装を試みた。本プロトタイプでは、NFC認証と指紋認証の2つの認証手法を用いてハードウェアとソフトウェアの面からアプローチした。ハードウェアについては、NFCタグを用いた場合でも、指紋認証センサーを用いた場合でも解錠・施錠処理を実行可能とするベースを、主にサーボモーターとマイコンを組み込んで構築することができた。自転車の鍵として一般的に用いられているシリンダー式のリング錠の上に組み込んだ簡易的なスマートロックとなったが、認証結果によって解錠・施錠処理を確認する手段としては十分な役割を果たす。ソフトウェアについては、NFC認証を実装した場合と指紋認証を実装した場合とで実装プロセスが、ハードウェアの実装プロセスと比較すると大きく異なるため、それぞれについて順を追ってまとめ、ハードウェアと連携して解錠・施錠動作を実行するフェーズまで構築することができた。全体を通して、NFC認証と指紋認証の2つの手法それぞれでスマートロックの解錠・施錠処理を実行できるプロトタイプを構築することができたものの、実行環境がローカル環境である点や、特定のユーザーのみに対しての施錠・解錠処理を実装している点から、より広範な物理的範囲において不特定多数の想定されるユーザーからのアクセスを正確に制御できるのかといった観点についての実現可能性については不確実である。

ハードウェアにおける今後の課題としては、不確実性を極力排除し、より洗練されたプロトタイプとしてのシステムの構築を目指す上ではソフトウェア上で動作確認・テストすることのできるシミュレーターを利

用した実装のアプローチも選択肢の1つとして考慮する必要がある。プロトタイプではなく、実際にハードウェアとして洗練されたスマートロックの構築を目指す上では3DCADのソフトウェアと利用して自転車の鍵がむき出しにならないような、セキュリティー面を考慮したハードウェアを作成する必要がある。また、本研究における実装で用いたリング状の自転車の鍵だけでなく、ワイヤー上の自転車の鍵を用いた解錠・施錠の方法についての検討も課題の1つとして挙げられる。

ソフトウェアにおける今後の課題として、NFC認証を実装した場合においては、よりシンプルな設計での制御方法を検討したり、1つのNFCタグで施錠と解錠のどちらの操作も実行できるようなシステムを構築したりすることが課題として挙げられる。指紋認証を実装した場合においては、現状、登録した指紋情報を一元管理することができていないシステム構成になっているため、指紋を登録したセンサーとは別のセンサーで認証を試みても許可されない。特定のユーザーのみでなく、不特定多数のユーザーでも安全に認証することができるシステムを構築する必要がある。

## 参考文献

- [1] 北村 舜・鈴木美緒. 非観光都市におけるシェアサイクルの導入動機が利用意向に及ぼす影響に関する研究. 自転車対策審議会資料 No5, 2019.
- [2] シェアサイクルに関する現状と課題 - 国土交通省. <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/sharecycle/pdf01/03.pdf>. (Accessed on 29/1/2024).
- [3] 自転車シェアリング市場は2027年までCAGR14%で大きな成長が見込まれる | Report Ocean のプレスリリース. <https://prtnews.jp/main/html/rd/p/000002329.000067400.html>. (Accessed on 16/1/2024).
- [4] LUUP (ループ) — 電動キックボードシェア/シェアサイクルアプリ — Luup (ループ) — 電動キックボードシェア/シェアサイクルアプリ. <https://luup.sc/>. (Accessed on 17/1/2024).
- [5] バイクシェアサービス | 自転車シェアリング. <https://docomo-cycle.jp/>. (Accessed on 17/1/2024).
- [6] Hussein Ahmad Al-Ofeishat and Mohammad AA Al Rababah. Near field communication (nfc). *Inter-*

