

# 中小企業における RFID 導入の課題解決に向けた一手法の提案

## ー産学連携コンソーシアムにおける DX 推進の視点からー

佐々木 喜一郎 (岐阜協立大学経営学部)

安立 成洋 (株式会社量子情報)

キーワード：中小企業, RFID, 業務システム, ローコード開発, DX

### 1. はじめに

本研究は、小売業や流通業、IT サービス業を営む中小企業からの相談に基づいて開始された。これらの中小企業は、岐阜協立大学地域連携センター地域創生研究所ソフトピア共同研究室に対し、RFID タグを活用した業務システムの導入相談を持ちかけた。相談内容は、RFID タグを活用した業務システムの導入による業務の効率化を目指したい。そして、生産性の向上に取り組み、働き方改革の促進や新サービスの開発に注力したいという。つまり、RFID タグに関わるデジタル技術を活用した DX (デジタルトランスフォーメーション) を進めたいということであった。RFID タグを利用した業務システムは、従来のバーコードを用いた業務システムと比べて、次の利点がある。バーコードは、表記されたラベルに近い位置で読み込む必要があるのに対し、専用リーダーと RFID タグを密着させなくても読み取り、同時に複数の RFID タグを読み取ることができる。そのため、商品ごとの読み取り行動をする必要が無く、一括読み取りをするために商品や人の移動するプロセスが少なく済み、作業時間の大幅な短縮が可能になる。また、商品を読み取りするプロセスにおいて、商品の読み取り過程における重複読み取りや読み取り忘れなどの人間に起因するエラーの発生を抑制して商品管理の精度を高めることができる。しかし、RFID タグを利用した業務システムの導入には顕著な利点がある一方で、バーコードを利用した業務システムからの移行に伴い懸念される欠点も存在する。その事例として、RFID タグを正確に読み取れない事象が存在する、RFID タグの単価が高い、RFID タグ関連ソフトウェアの柔軟性とスケーラビリティの不足が挙げられる。これらの課題に対応可能かであるか検証するため、興味を持つ学生や専門知識を有するエンジニアを募り、産学連携の研究コンソーシアムプロジェクトを発足させた。

本研究プロジェクトの目的は、「様々なビジネス分野の中小企業に適合する RFID タグを利用した業務システムの開発」である。また、本プロジェクトの具体的な目標は、「導入システムのシミュレーションによるコスト対策」、「RFID タグの読み取り漏れに関する課題の解決」、「柔軟性とスケーラビリティに対応した RFID タグを活用した業務システムの確立」である。本研究の新規性は、RFID タグを再利用できる仕組みを実現したこと、および RFID 専用リーダーとモバイル端末を連動させるソフトウェアのローコード開発プラットフォームを考案し、実証したことである。

## 2. システムの要件定義

本章では、小売業や流通業、IT サービス業を営む中小企業からの相談内容および RFID タグを利用した先行事例を基に、RFID タグを利用した業務システムの現状と課題を分析する。さらに、これらの課題に対する対応策を検討し、可能な解決策を提案する。また、提案された解決策を基に、プロトタイプシステムの要件定義を行い、その具体的な構成要素と機能を述べることで、システム開発に向けた基礎を構築する。また、本研究におけるシステムのコストシミュレーションを行い、従来のシステムと比べてコストパフォーマンスが高いことを明らかにする。

### 2.1 課題特定と要件定義

RFID タグは、電波を反射する金属が多い環境や電波を吸収する水分が多い環境といった、電波を遮断する物質が多く存在する場所で、正確な読み取りが困難な場合がある。具体的には、金属棚や冷蔵庫が設置されている場所、調味料や飲料水が保管されている場所、および金属を頻繁に扱う場所がこの問題に該当する。これらの環境において、通常の RFID タグは信号が遮断されやすく、読み取りエラーが頻発する。このような課題に対処するための一つの解決策として、RFID タグから放射される微弱な応答波を増幅する耐水性タグや金属対応タグの使用が挙げられる。しかし、これらのタグの単価は、標準的な RFID タグと比較して約 10 倍に及ぶ。ただし、タグの利用頻度が増加するにつれて、その単価は徐々に下がっている。現在、RFID タグで管理される商品の単価が高い項目から普及が進んでおり、低単価の商品においては普及が困難な状況である。特に、小規模な小売店においては、導入のハードルがさらに高い状況にある。

これらの課題に対応するため、本研究における RFID タグを利用した業務システムの要件を定義した。提案するシステムは、RFID タグの一意性を活用して、商品ごとの情報を詳細に追跡管理することを目的とする。具体的には、商品が製造ラインから販売されるまでの各段階で使用される RFID タグを意図的に回収し、これらのタグに記録されたデータを商品管理データベースと突き合わせることで、商品情報を一貫して管理する。このシステムを導入することで、製品ごとの読み取り漏れを特定し、これまでに発生していた在庫の誤差や損失を大幅に減少させることが可能になる。さらに、回収した RFID タグは、データの紐付けを解除した後、再生処理を行い、再利用することができる。これにより、RFID タグの再利用率が向上し、購入コストの削減が実現する。また、この取り組みは、RFID タグの単価が高いという問題を緩和するだけでなく、環境負荷の軽減にも寄与する。ただし、RFID タグの回収と再利用には、専用の設備やシステムの開発が必要であり、イニシャルコストやランニングコストが増加する可能性がある。そのため、導入前には詳細なコスト分析と効果予測を行う必要がある。経済的な観点から、投資対効果を検証し、システム導入の判断を下すことが重要である。さらに、このシステムの開発と導入は、国際的な持続可能な開発目標 (SDGs) の目標 12、「つくる責任とつかう責任」を具体化する一環として位置づけられる。RFID タグの効率的な利用と再利用により、リソースの無駄を削減し、持続可能な消費と生産のパターンを推進することが期待される。そのため、本システムは単なるコスト削減や効率化の手段に留まらず、企業の社会的責任の遂行と環境保護への貢献という、新たな価値創出の機会を提供すると考えられる。このような総合的なアプローチにより、本システムの提案方式は、企業にとってだけでなく、社会全体にとっても有益な手法として成立する可能性がある。

ソフトウェアの導入に際して、各企業には固有の事情が存在するため、現場の環境やデータ取扱いの特性に適応可能なシステムの開発が求められる。この課題に応じて、本研究で開発するシステムには、RFID 専用リーダーとモバイル端末 (スマートフォンやタブレット) が連動する機能を組み込むこととした。こ

の機能により、RFID 専用リーダーと業務システム間の通信方法に多様性を提供し、Bluetooth、無線 LAN、モバイル通信などの通信オプションから、各企業がコストやセキュリティの要件に基づいて最適なものを選ぶことができる。また、必要に応じて、業務処理のモバイルアプリケーションによるスモールスタートも可能であり、業務システムとの連携を段階的に行うことができる。

本システムは、業務の連続性を保ちつつ、データの確認や更新を場所や環境に依存せずに行えるよう、プログレッシブウェブアプリ（PWA）技術を採用することとした。PWA はオフラインでの操作も可能で、インターネット接続が不安定または利用不可能な環境下でもシステム機能を維持する。これにより、データの整合性とアクセスの信頼性が向上し、作業効率が大幅に改善されることが期待される。さらに、業種や業界特有の要件に応じた UI（ユーザーインターフェース）や UX（とユーザーエクスペリエンス）を考慮した設計が必要とされるため、カスタマイズ性が高く柔軟なシステム構築が不可欠である。これにより、イニシャルコストおよびランニングコストは増加するものの、長期的な運用効率とユーザ満足度の向上が見込まれる。

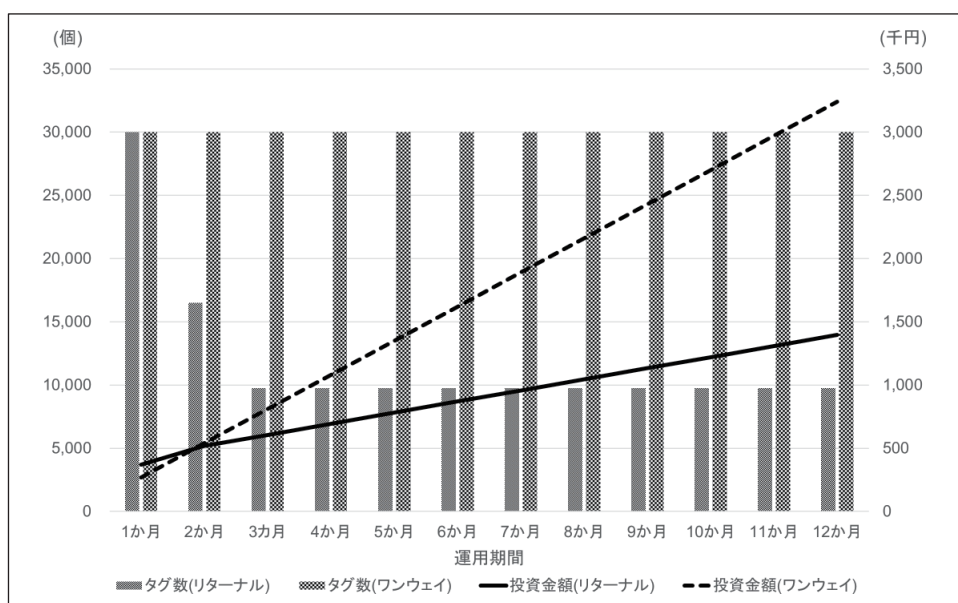
開発プロセスでは、ローコード開発アプローチを採用することとした。これにより、少ないコーディングで迅速にアプリケーションを開発することができる。つまり、RFID 専用リーダー端末の制御ソフトウェアや RFID タグ関連システムの迅速なプロトタイピングと変更を可能にする。また、クロスプラットフォームモバイルアプリケーション開発に Angular を使用する。なお、フロントエンドでは HTML、CSS、JavaScript を使用し、バックエンドでは Java を使用するが、コーディングプロセスでは JavaScript を使用する。また、データ処理やデータ管理にも JavaScript を使用し、CSV の入出力及びクラウドデータベースとの連携を行う。これにより、開発プロセスの短縮化と簡易化が実現され、ローコストで制御ソフトウェアを開発できる。また、ソフトウェアのメンテナンス性の向上を図り、システムの需要が急増してもクラウドの弾力性により容易に対応するため、企業のビジネス拡大を強力にサポートできる。

今回の要件定義で見送られた機能を挙げる。これらを将来的に適用することにより、多様な可能性を実現できることが期待される。具体的には、UI/UX 対応したアプリケーションの開発が可能となる。このアプリケーションはタッチ操作に最適化されたボタン配置とスワイプによるジェスチャーナビゲーションを活用することで直感的な操作が可能になる。これにより作業の効率化が促進されると同時に利用者の操作負荷が低減される。また、アクセシビリティの強化が可能な点も重要な特徴である。大きくて読みやすいアイコンやフォントを採用し、視認性を向上させる設計が可能である。ピクトグラムの活用により、事前学習が不要で直感的に操作でき、スクリーンリーダーに対応し、ARIA ラベルを活用して正確な読み上げを支援できる。さらに、タッチスクリーンの操作に対応した音声フィードバック機能を提供し、選択したオブジェクトや利用者の行動に対して即座に音声で応答し、操作が正確に行われているかを確認できる。リアルタイムトラッキングと位置情報の活用により、商品の正確な位置をリアルタイムでトラッキングし、利用者の位置情報を利用することが可能である。これにより、利用者が求める商品を素早く発見できるようになり、AR による案内支援が提供される。さらに、異なる利用者のプロフィールに基づくカスタマイズオプションの提供も重要だ。現場の入力向けにはシンプルなインターフェースを提供し、管理者向けには詳細な情報がアクセス可能なインターフェースを設定できる。これにより、それぞれの業務要件に最適化されたカスタマイズが可能となり、全体の運用効率が向上する。これらの機能の統合により、システムは利用者の操作性とアクセシビリティを大幅に改善し、多様な業務環境での適応性を高めることができる。

## 2.2 RFID タグのコストシミュレーション

本研究におけるシステムの具体的なコスト分析例として、大手アパレル事業者 A 社と OEM 契約を結び、月に 3 万点のアパレル商品を製造しているサプライヤー B 社のケースを想定する。この分析では、一度きりの使用で廃棄されるワンウェイタグと、再利用可能なリターナルタグのコスト効果を比較する。タグの価格は 1 個あたり 9 円と設定し、リターナルタグの回収率を 75% とする。さらに、回収されたタグの中から 10% が不良品であると仮定する。リターナルタグの運用には、タグと商品の紐付けおよび解除作業に必要な人件費として毎月 10 万円を計上する。以上の条件で試算すると、初月ではリターナルタグの初期投資が大きく、コストが高くなるが、2 ヶ月目からはコストが逆転し始める。12 ヶ月間の運用を考慮した場合、ワンウェイタグの総コストは 324 万円に対して、リターナルタグの総コストは 140 万円となり、両者の間に 184 万円の差が出る。この結果から、リターナルタグが長期的に見ると非常にコスト効率が良いことが明らかになった (図 1)。また、タグの価格を 1 円とした別のシミュレーションでは、6 ヶ月目を基点にリターナルタグの投資額が少なくなるという結果が得られた。この分析から、リターナルタグの導入は初期コストが高いものの、時間が経つにつれてその効果が顕著に現れることが明らかとなった。

図 1 RFID タグのコストシミュレーション (タグ単価 9 円の場合)



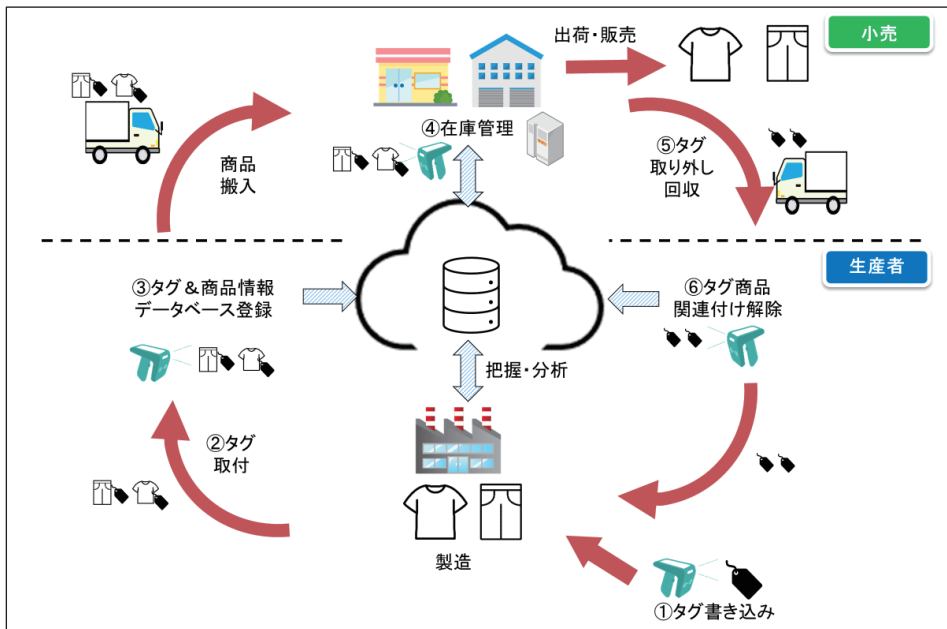
### 3. システムの概要

本章では、第 2 章で定義された要件に基づいて設計されたシステムの概要を明らかにする。システムの概要は、システムの全体概要、システムの活用例、システムの業務フロー、システムの構成の視点から述べる。

#### 3.1 システムの全体構造

本システムの全体構造を図に表現した (図 2)。本システムは、タグ管理を行うのは生産者側、在庫管理を行うのは小売側の想定となっているが、クラウドでの利用を選択すれば、生産者側も在庫確認ができるようになっている。従来、販売状況の分析を行うのは小売側で、販売状況を見ながら仕入商品を決め、生産者側に発注を行う事が多かった。生産者側でも小売の在庫状況、つまり販売状況が把握でき消費者の反応をデータとして得られる事で、商品企画に活かせるメリットを想定している。経済産業省の調査を見ても、生産者と小売でどちらが RFID のコスト負担を担当するのかという課題は根深い問題となっており、生産者でタグ付けを行いつつ、サプライチェーン全体としてのシステム構成を意識した。

図 2 システムの全体構造図

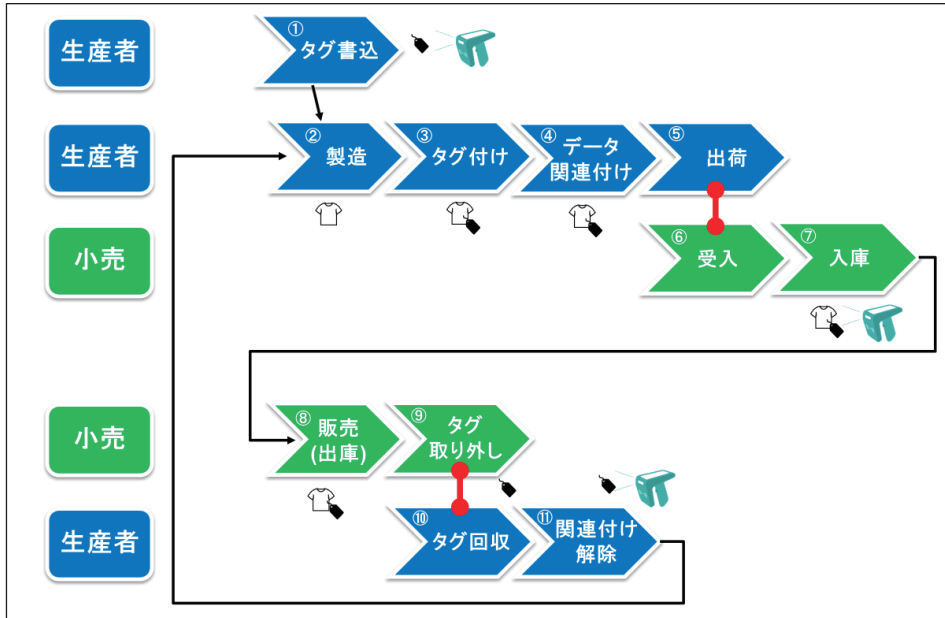


#### 3.2 システムの業務フロー

システムの業務フローを図に表現した (図 3)。まず、ID を書き込んだ RFID タグを準備しておく。製品が製造されるとこのタグを付与する。RFID タグは、製品のトレーサビリティを行いたい任意の工程で製品に付与する事も可能である。続いて、製品と RFID タグのデータ関連付けを行い、製品を出荷する。ここまですべてが一旦の生産者側のフローである。小売側は、製品を受け取り検品し、入庫を行う。その後製品を販売し、このタイミングでタグを製品から取り外す。取り外された RFID タグは生産者が回収し、製品との関連

付けを解除し、再利用可能な状態にする。従来、BtoBモデルの業界においては、RFIDタグをリターナブルに利用する方法は見られたが、小売が入るBtoCモデルの業界においては、RFIDタグの利用方法はワンウェイが一般的であった。このRFIDタグを再利用し活用する事で、RFIDタグに係るコストダウンを図っている。

図3 システムの業務フロー図



### 3.3 システムの利用例

物流・小売ではRFID活用による在庫管理・棚卸省力化の効果は解りやすいが、ここでは生産者を対象に、システム活用によるメリットの例を2点挙げる。1点目として、商品の欠品・余剰在庫の把握が挙げられる(図4)。小売における商品の在庫状況や販売状況を知る事で、生産者は商品の生産計画を抑制する事で過剰在庫を防ぎ、また在庫減少を検知して適切に商品を配送する事で欠品による販売機会損失を防ぐ事が出来る。2点目として、消費動向を活用した戦略立案・商品企画が挙げられる(図5)。販売状況から、自社の宣伝活動に対してどれほどの効果があるか相関を把握でき、商品の売れ行きから新しい商品企画・自社のブランド戦略を構築する事ができる。これらが実現すれば、自社の売上を向上すると共に製品廃棄ロスも減らす事ができ、SDGsに取り組んでいるという事でブランドイメージ向上も可能となる。

図4 システム活用事例：欠品・余剰在庫の把握

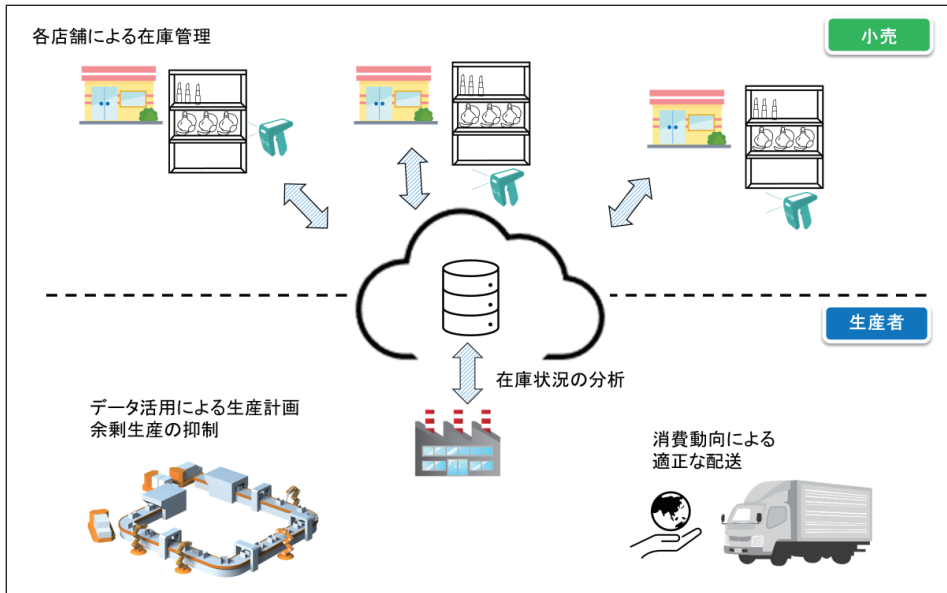
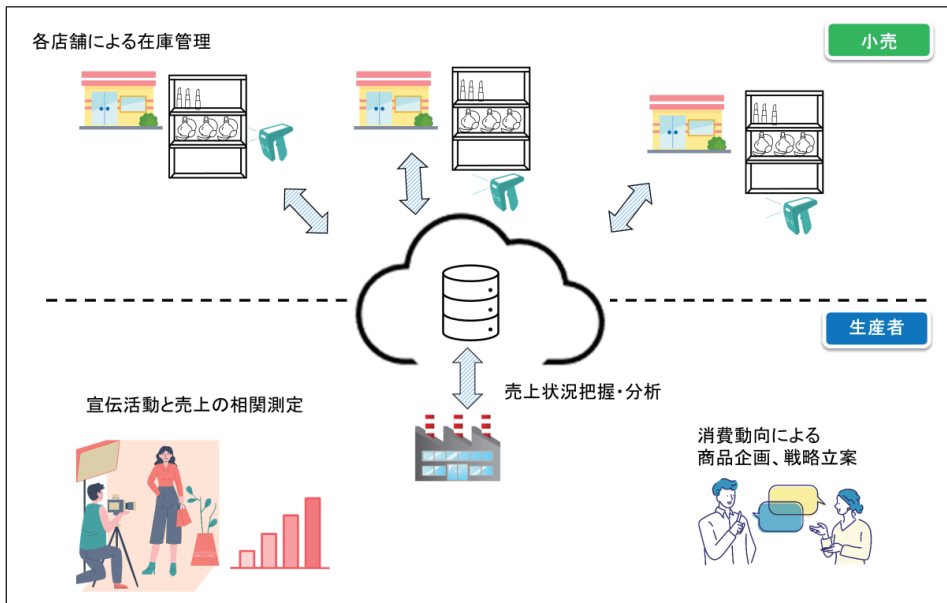


図5 システム活用事例：欠品・余剰在庫の把握



### 3.4 システムの構成

本システムは、第2章で定義された要件に基づき、以下のような構成となっている（図6）。RFID専用リーダーは、ハンドヘルド型でかつ、クライアント機器とBluetooth®接続が可能なものとしてRFD8500を選択した（図7）。クライアント端末はiOS、Androidを想定し、1つのコードで両端末用のアプリケーションがクロスプラットフォームで開発できるように、Capacitorを使用した。Capacitorは、Android用とiOS用にネイティブコードを生成する役割を担っている。AndroidのネイティブコードはAndroid JavaとKotlin、iOSのネイティブコードはObjective-cとSwiftがそれぞれあるが、Capacitorはいずれも対応可能である。今回は、AndroidはJava、iOSはSwiftを生成する設定としている。一時的なオフライン環境での使用も想定されるため、FirebaseのFirestoreを用いる事とした。Firestoreはオンラインでの利用が基本だが、オフラインキャッシュも保持し、データの永続性を保証する。

図6 システム構成図

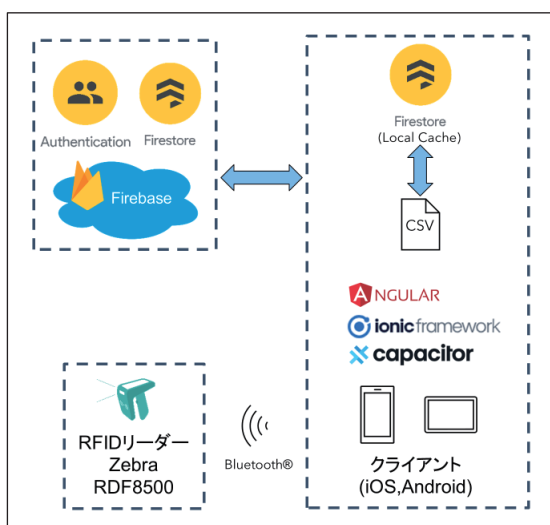


図7 RFID専用リーダー





#### 4. システムの特徴

本章では、第 2 章で定義された要件に基づいて設計されたシステムの特徴を詳細に述べる。本研究で開発したシステムの機構は、主に三つの機構に分類される。これらは IAM 機構（Identity and Access Management）、在庫管理機構、およびシステム管理機構である。次節では、これらの機構が担う各機能について詳細に述べる。なお、各機構および各機能は、システムメニュー内で商品情報、タグ、システム関連というカテゴリに分類され、ユーザーフレンドリーな表記が採用されている（図 8）（図 9）。

図 8 メニュー画面 1



図 9 メニュー画面 2



##### 4.1 IAM 機構の特徴

IAM 機構は、アカウント管理機能、ログイン機能で構成される（図 10）（図 11）。アカウント管理機能は、アカウントの追加と削除ができる。アカウントは、アカウント管理メニューで一覧を確認することができる。また、各ユーザの詳細情報を閲覧した場合は、該当するユーザの項目をタップすることでアカウントの詳細情報が表示される。アカウントの詳細情報は、ユーザ ID とパスワード、管理者または一般ユーザの権限である。アカウントを追加する場合は、右下のフローティングアクションボタンの【+】ボタンをタップし、アカウント情報を入力することで完了する。アカウントを削除する場合は、該当するユーザのアカウント詳細情報の画面にあるアカウントの削除ボタンをタップすると再確認の注意喚起のポップアップメニューが表示されるので、削除ボタンをタップすることで完了する。ログイン機能は、アカウント管理機能で作成したユーザアカウント情報を利用することで、権限に応じたソフトウェアの機能が利用できるようになる。各ユーザが使用した機能や起こしたアクションは、すべてシステムログ管理機能に記録され出力が可能になっている。IAM 機構により、システム全体のセキュリティが向上し、ユーザ管理が効率化される。また、IAM はユーザ認証と権限付与を厳密に管理し、不正アクセスやデータ漏洩のリスクを低減する。また、レポート機能により、セキュリティインシデントの迅速な対応が可能となる。これらの

利点は、本システムの運用効率、セキュリティ、およびコンプライアンス向上に寄与する重要な役割を果たす。

図 10 アカウント追加画面

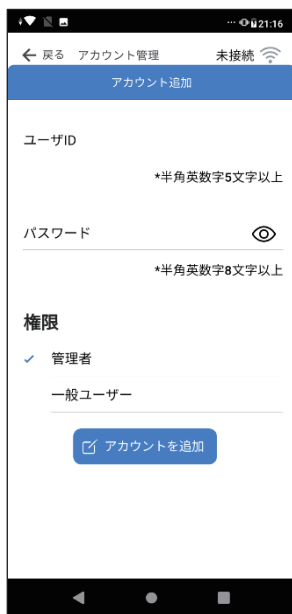


図 11 ログイン画面



#### 4.2 在庫管理機構の特徴

在庫管理機構は、RFID タグ情報の管理機能、商品情報の管理機能、入庫機能、出庫機能、棚卸機能で構成される。

RFID タグ情報の管理機能は、タグ ID と商品情報の紐付けや解除、RFID タグのタグ ID の書き換え、パスワード設定ができる (図 12) (図 13) (図 14)。RFID タグと商品情報を紐付ける場合は、まずタグ紐つけメニューから該当する商品情報の項目をタップする。次に、タグ読込画面が表示されるので、RFID 専用リーダーを使用して対象の RFID タグを読み取る。その後、【紐つけ開始】ボタンをタップすると、再確認のためのポップアップが表示される。最後に、【OK】ボタンをタップすることで紐付け作業が完了する。RFID タグと商品情報を紐付け解除する場合は、まずタグ紐つけ解除メニューから該当する商品情報の項目をタップする。次に、タグ読込画面が表示されるので、RFID 専用リーダーを使用して対象の RFID タグを読み取る。その後、【紐つけ解除開始】ボタンをタップすると、再確認のためのポップアップが表示される。最後に、【OK】ボタンをタップすることで紐付け作業が完了する。RFID タグのタグ ID を書き換える場合は、まずタグ書き換えメニューから該当する RFID タグの項目をタップする。次に、新たなタグ ID を入力し、【タグ ID 書き換えの開始】ボタンをタップする。その後、再確認のためのポップアップが表示されるので、【書き換え】ボタンをタップすると完了する。RFID タグのパスワードを設定する場合、まずタグパスワードメニューから該当する RFID タグの項目をタップする。次に、新たなタグ ID を入力し、【パスワード書き換えの開始】ボタンをタップする。その後、再確認のためのポップアップが表示されるので、【書き換え】ボタンをタップすると完了する。なお、タグ ID と商品情報の紐づけや解除、RFID タグのタグ ID の書き換え、パスワード設定については、CSV 形式のファイル入力に対応しているため一括処理が可能である。RFID タ

の詳細情報を閲覧したい場合は、まずタグ情報管理メニューから該当する RFID タグの項目をタップすることで RFID タグの詳細情報が表示される。RFID タグの詳細情報はタグ ID とタグパスワードである。なお、RFID タグの種類によっては、更に情報を表示することが可能である。

商品情報の管理機能は、商品情報の追加、商品情報の編集、商品情報の管理ができる（図 15）（図 16）（図 17）。商品情報を追加する場合は、まず商品情報追加メニュー右下にあるフローティングアクションボタンの【+】ボタンをタップする。次に、商品情報の入力画面が表示されるので、各項目に詳細情報を入力する。その後、【追加】ボタンをタップすると、再確認のためのポップアップが表示される。最後に、【OK】ボタンをタップすることで商品情報の追加作業が完了する。商品情報を編集する場合は、まず商品情報編集メニューから該当する商品情報の項目をタップする。次に、商品情報の入力画面が表示されるので、各項目に変更する詳細情報を入力する。その後、【変更】ボタンをタップすると、再確認のためのポップアップが表示される。最後に、【OK】ボタンをタップすることで商品情報の編集作業が完了する。商品情報を削除する場合は、まず商品情報削除メニューから該当する商品情報の項目をタップする。次に、商品情報の画面が表示されるので、【削除】ボタンをタップすると、再確認のためのポップアップが表示される。最後に、【OK】ボタンをタップすることで商品情報の削除作業が完了する。なお、商品情報の追加、商品情報の編集、商品情報の削除については、CSV 形式のファイル入力に対応しているため一括処理も可能である。商品情報の詳細を確認する場合、商品情報管理メニューから該当する商品情報の項目をタップすると、詳細情報が表示される。商品の詳細情報には、JAN コード、商品名、カラー、サイズ、在庫数、紐づけ状況などが含まれ、これらは各企業の要望に応じて自由に変更可能である。

入庫機能は、入庫する商品のリスト生成と検品、商品の探索ができる（図 18）（図 19）（図 20）。入庫する商品のリスト生成と検品は、まず入庫管理メニューから商品の発送情報を含む CSV ファイルを選択することで商品の検品リストが作成される。次に、入庫検品リスト画面で RFID 専用リーダーを使用して商品の入った貨物を読み込むと、商品項目の色が変化する。入庫予定の商品で検品が完了した項目は緑色、入庫していない商品項目は赤色、入庫予定に含まれていない商品の項目は橙色になる。その後、【検品終了】ボタンをタップすると、再確認のためのポップアップが表示される。最後に、【OK】ボタンをタップすることで商品の検品作業が完了する。商品の探索は、入庫検品リスト画面で【商品探索】ボタンをタップすることから始まり、検品リストにある商品の RFID タグの電波強度がインジケータとして表示される。詳しい場所を探索したい場合は、該当する商品の項目をタップすると探索モードが起動し、RFID 専用リーダーのトリガーを引いている間に RFID タグとの距離が表示される。これにより、検品リストの商品位置を特定できる。出庫機能は、入庫機能と同様の手順で操作することで検品作業や商品を特定する作業が可能である。棚卸機能は、RFID 専用リーダーを使用して在庫商品の集計ができる。棚卸する商品のリスト生成は、まず棚卸管理メニューから入庫管理と出庫管理から生成された商品情報を含む CSV ファイルを選択することで商品の棚卸リストが作成される。次に、棚卸リスト画面で RFID 専用リーダーを使用して商品を読み込むと、商品項目の在庫数が変化する。その後、【棚卸終了】ボタンをタップすると、再確認のためのポップアップが表示される。最後に、【OK】ボタンをタップすることで商品の棚卸作業が完了する。なお、検品結果や棚卸結果は CSV ファイル形式での出力や、他の業務システムへ転送できる。

図12 タグID紐つけ画面

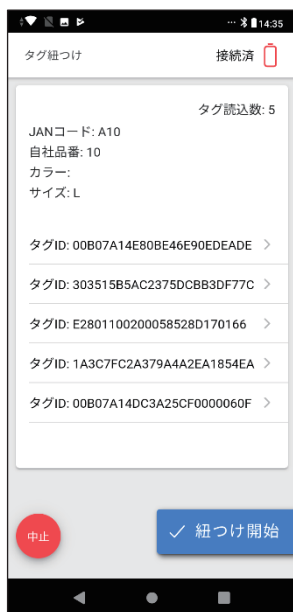


図13 タグ読み取り画面

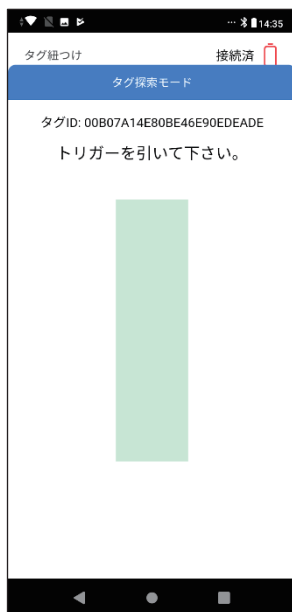


図14 パスワード設定画面



図15 商品情報管理画面

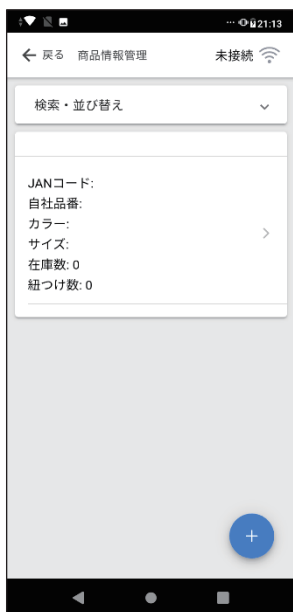


図16 商品一括登録画面



図17 商品一括編集画面



図 18 入庫情報の入力画面



図 19 入庫情報一覧画面



図 20 タグ一括入力画面



#### 4.3 システム管理機構の特徴

システム管理機構は、専用リーダーの管理機能、システムログの管理機能で構成される。RFID 専用リーダーの管理機能は、RFID タグの読み取り距離の設定、RFID タグの読み取り制御方式の設定、その他の設定ができる（図 21）（図 22）（図 23）。RFID タグの読み取り距離の設定は、RFID 専用リーダーの出力を調節することで読み取り距離を変更できる。これにより、読み取り精度を重視するか、電力の消費を抑えることを重視するか変更ができる。これらの設定は、入庫時、出庫時、棚卸時、RFID タグの情報を紐付けまたは解除時、RFID タグの情報を書き換える時の業務タスク毎に変更ができる。なお、出力単位は利用者が分かり易い単位に換算したメートル単位の設定ができる。RFID タグの読み取り制御方式の設定は、シングル読取とマルチ読取から選択できる。シングル読取は、専用の RFID リーダー1 台で読み取りができる。マルチ読取は、連動する複数の専用の RFID リーダーを利用して、複数人で広範囲の読み取りができる。これにより、広い範囲な読み取り必要な環境下で作業効率を重視するか、狭い範囲で読み取りが十分な環境下でコストを重視するか変更ができる。

システムログの管理機能は、各機能を利用時は右上にインジゲーターとしてアイコンを表示させている。そのアイコンは、モバイル端末（スマートフォンやタブレット）との接続状況や RFID 専用リーダーのバッテリー状況を示している。また、ログ管理メニューにおいて、各ユーザが使用した機能や起こしたアクションやシステムの状態を閲覧できる。また、その表示は並べ替え、日付を使用した絞り込みなどができる。さらに、システムログは CSV 形式で出力することが可能で、モバイル端末にダウンロードして活用が可能である。

システム管理機構により、システム全体の透明性が向上し、エラーの特定と診断が容易になる。また、セキュリティが強化され、効果的な在庫管理と改善のためのデータ提供が可能となり、法規制の遵守にも寄与するといった多くの利益を提供する。このように在庫管理プロセスが透明化されることで、監査や検証作業が簡単に行えるようになる。同時に、システムの堅牢性が向上し、セキュリティ問題の早期発見と

迅速な対応が可能になるため、安全性が保たれる。さらに、運用上のボトルネックや非効率な部分が明確になり、それらを改善する戦略を立てることで業務効率が大幅に向上する。特定の業界においては、規定に従った記録の保持によって、潜在的な法的問題を事前に防ぐことができる。

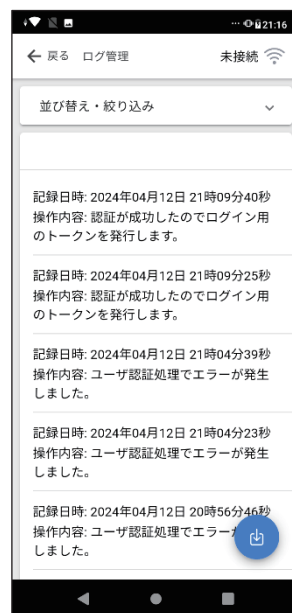
図 21 読み取り距離設定画面



図 22 読み取り方式設定画面



図 23 ログ管理画面



## 5. システムの実装

本章では、第 2 章で定義された要件に基づいて設計されたシステムの実装方法を明らかにする。なお、本研究の要となる在庫管理機構における、RFID タグ情報の管理機能、商品情報の管理機能、入庫機能、出庫機能、棚卸機能を中心に述べている。

本システムのアプリケーションにおける商品データの登録、編集、削除に関連する手順を示す (図 24) (図 25) (図 26)。商品データの登録には CSV ファイルが使用される。この CSV ファイルには、register\_janCode (JAN コード)、register\_productName (商品名)、register\_productDesc (商品説明) の 3 つの項目が含まれている必要がある。これらの情報が欠けている場合、エラーメッセージとして「追加する際は JAN コードと自社品番を必ず入力してください」と表示される。また、JAN コードに記号が含まれている場合は、「JAN コードに記号等は使用できません」というエラーメッセージが表示される。登録されるデータは Firebase データベース (NoSQL) に保存され、ここで register\_janCode の重複チェックが行われる。重複がある場合は「同じ商品が存在するので追加できません」というエラーメッセージが表示される。さらに、JAN コードが 50 文字を超える場合は「JAN コードが 50 文字を超えているので追加できません」と表示される。商品情報の編集時には、編集対象の商品データが含まれた CSV ファイルを用いる。必要な項目は register\_janCode のみであり、このコードが CSV に含まれていない場合、「商品情報が存在しません」と表示される。更新するデータがない場合は「編集するデータがないので更新できません」とエラーメッセージが表示される。文字数制限を超えているデータがある場合も、「文字数制限を超えているデータがあるので処理を行えません」と表示される。商品情報の削除に際しても、対象商品データが含まれた CSV ファイルが使用される。register\_janCode をキーとして商品情報の存在を確認し、該当するデータがなければ「商品情報が存在しません」と表示される。削除対象の商品が在庫を持つ場合は「在庫が存在するので削除できません」とエラーが表示される。商品登録においては、さまざまな属性が設定されており、それぞれに文字数制限がある。例えば、商品名は最大 100 文字、色やサイズは 20 文字までとしている。制限を超えるデータが含まれている場合、一律に「文字数制限を超えているデータがあるので処理を行えません」というエラーメッセージが表示される。これらのプロセスを通じて、データの整合性と適切なエラーハンドリングが確保されることで、システムの信頼性が向上することが期待される。

本システムにおけるアプリケーションにおいて、RFID リーダーを使用して入庫、出庫、棚卸の処理を行う手順を示す (図 27) (図 28) (図 29)。まず、アプリケーションは事前に各 CSV ファイルから商品データを読み込む。このデータは、入庫、出庫、および棚卸の際に RFID タグの読取処理の基となる。商品データを選択することで、アプリケーションは選択された商品に対応する RFID タグを解析する。アプリケーションに接続された RFID 専用リーダーは、トリガーを引くことにより最大 2 メートルの距離から RFID タグを読み取り、そのデータをアプリケーションに送信する。このシステムでは、ハードウェアとソフトウェアの処理が分かれており、ハードウェア処理には Java や Swift を使用して Bluetooth やカメラなどの機能を扱う。一方、ソフトウェア処理は、ハードウェアからのデータをソフトウェアに転送する Capacitor という JavaScript フレームワークを利用し、Android や iOS を問わずすべての処理を JavaScript で行う。今回のアプリケーション開発では、Bluetooth の RFID リーダーをハードウェアとして使用し、ソフトウェアフレームワークとして Capacitor と Angular が使用されている。RFID リーダーからのデータはオブジェクト型で、タグ ID、タグとの距離、タグの信号強度、TID のデータが含まれている。RFID リーダーは 1 秒間に約 700 個のタグを読み取る能力があり、アプリケーションへの送信データは読み取った RFID タグ情報の配列となる。アプリケーションはこの配列を Angular のストレージ機能を用いて保持し、新たなデータ

が追加されるたびに配列をマージして拡大していく。具体的な業務処理としては、入庫時には読み取ったタグの数が不確定であるため、すべてのタグを登録し Firebase や CSV に出力する。出庫時にはタグの数が一致しない場合、登録処理を中止する。棚卸しでは、読み取ったタグの数だけを登録し、同様に Firebase や CSV に出力する。これにより、各業務プロセスでのデータ整合性と追跡が可能である。

本システムにおけるアプリケーションにおいて、登録した商品データと RFID タグの紐付け処理および紐付け解除処理を行う手順を示す (図 30)。まず、商品データの登録後に RFID タグとの紐付けを行う。この一括登録処理では、登録された商品データが表示され、各商品データに対して RFID タグとの紐付けが実施される。紐付け一覧では、登録商品の JAN コード、自社品番、カラー、サイズ、入庫による在庫数、そして RFID タグとの紐付け数が示される。詳細画面では、一覧で表示された商品データと紐付けられた RFID タグのタグ ID を一覧表示し、RFID リーダーのトリガーを引くことで設定された距離内の RFID タグが読み取られる。この際、紐付けされていない RFID タグのみが表示され、その電波強度をゲージで表示することで、RFID タグの位置を特定できるようになる。読み込んだ RFID タグを選択すると、個別のタグの位置を探索できるポップアップが表示される。詳細処理の「タグ紐付け開始」ボタンを押すことで、読み込んだ RFID タグの紐付け処理が行われる。次に、RFID タグの紐付け解除処理について述べる。これは主に在庫処理後の再生処理や、誤って登録した RFID タグの紐付けを解除する際に使用される。RFID リーダーのトリガーを引くことで、設定された読み取り距離内の RFID タグが一覧表示される。読み込んだ RFID タグを選択することで、個別のタグの位置を探索するポップアップが表示され、紐付け解除ボタンを押すことで一覧に表示された全ての RFID タグの紐付けが解除される。これらのプロセスを通じて、商品データと RFID タグの紐付けおよび解除が効率的かつ正確に行われるように設計されている。

図 24 商品情報を追加する処理のフローチャート

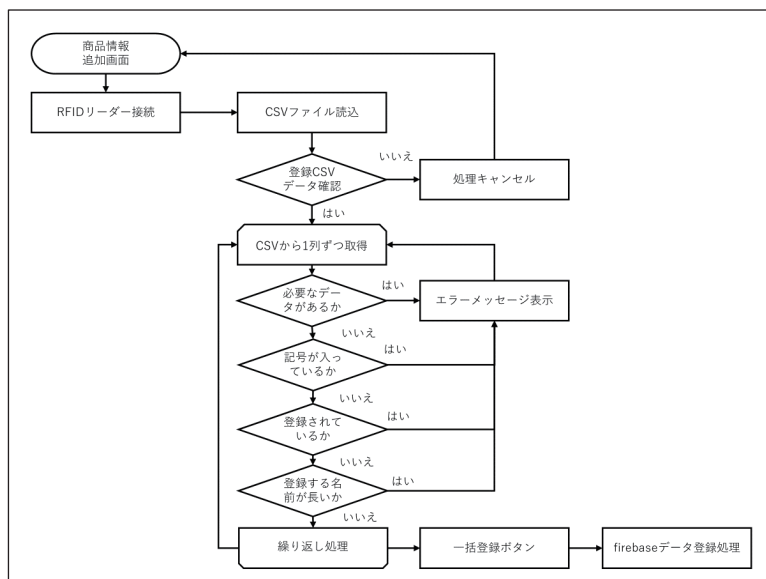




図 25 商品情報を編集する処理のフローチャート

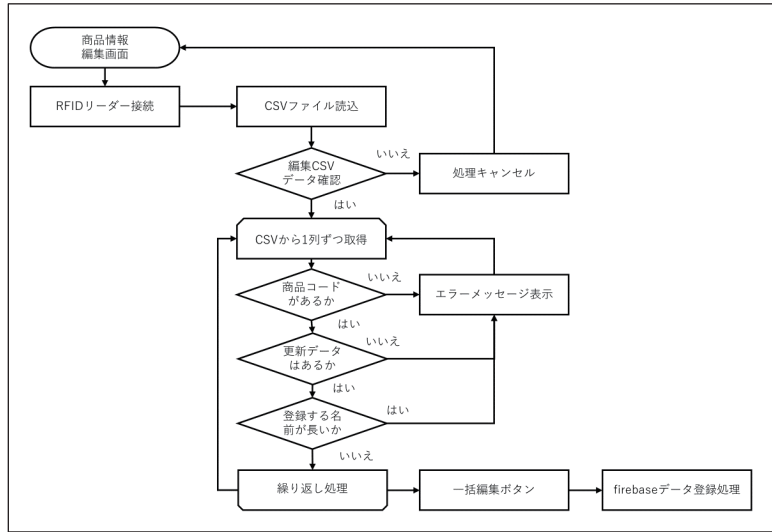


図 26 商品情報を削除する処理のフローチャート

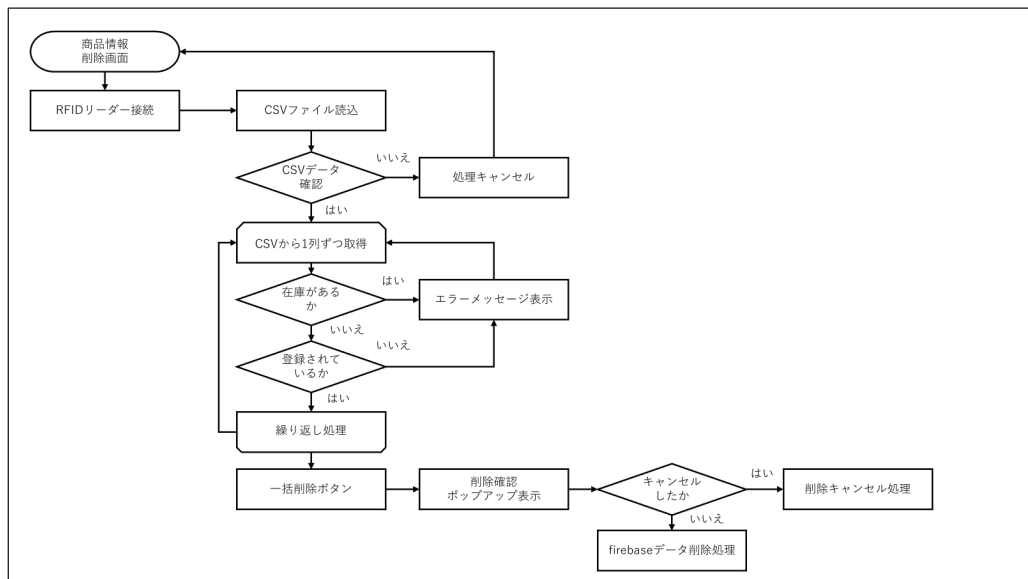


図 27 入庫処理のフローチャート

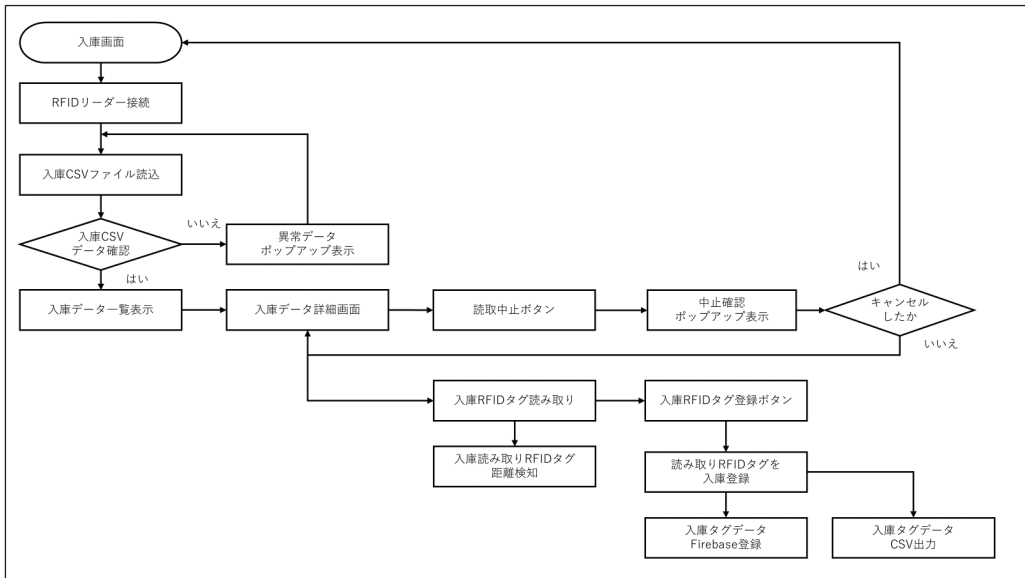


図 28 棚卸処理のフローチャート

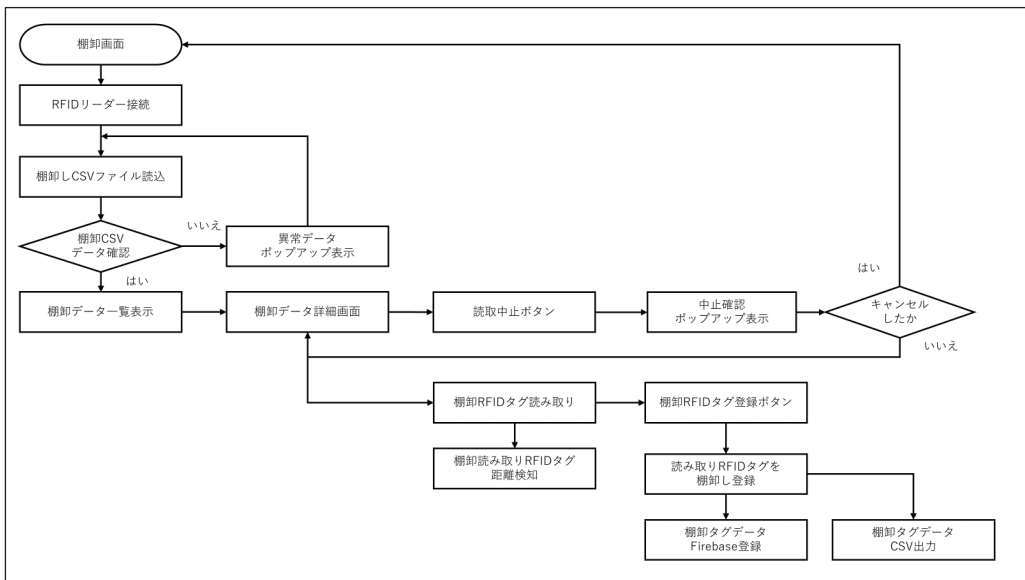


図 29 出庫処理のフローチャート

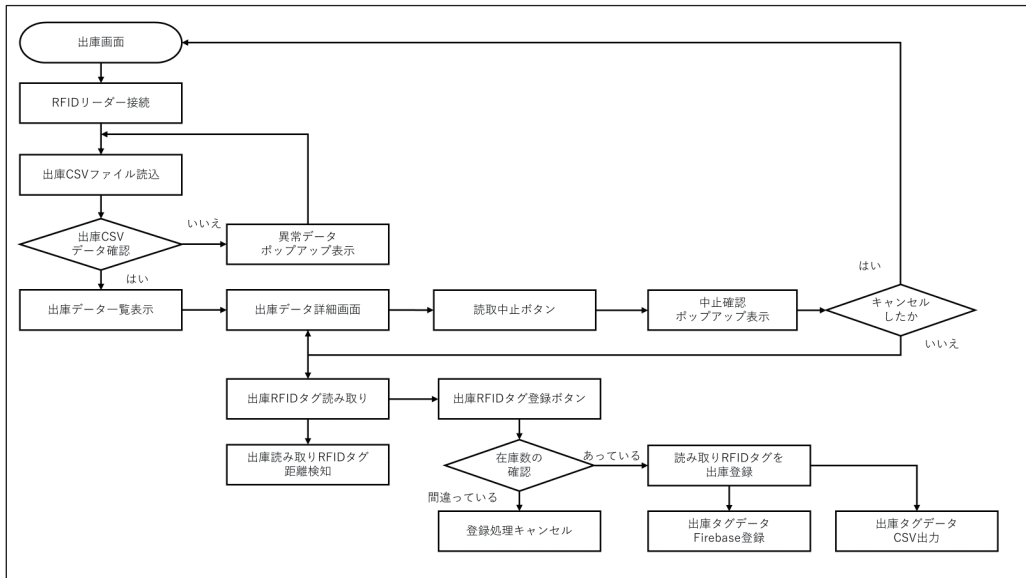
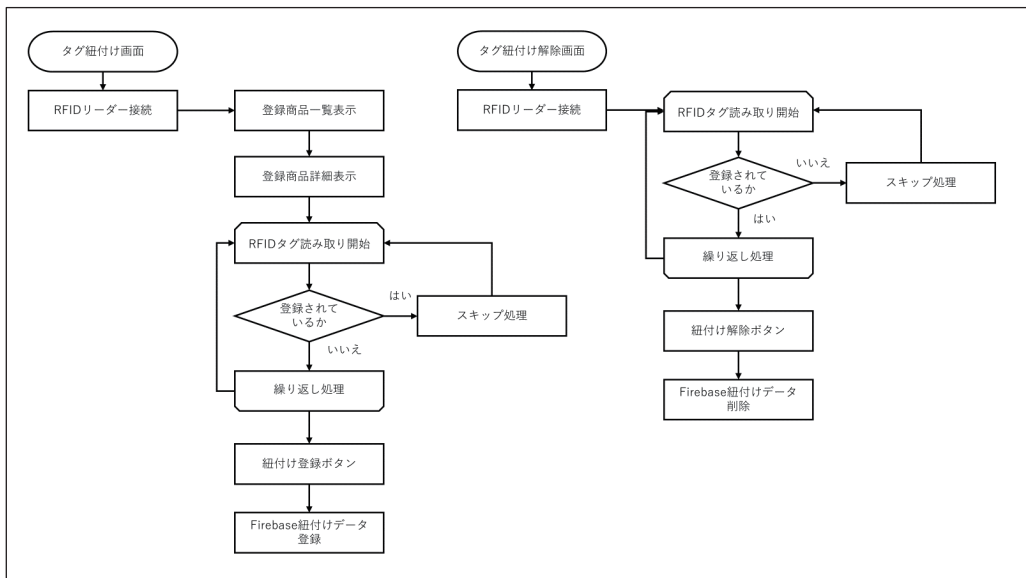


図 30 RFID タグの紐付けと解除のフローチャート



## 6. おわりに

研究は中小企業における RFID 導入の課題を解決する手法を提案し、DX（デジタルトランスフォーメーション）を推進するための実践的な施策を示した。第2章では、RFIDを利用した業務システムの具体的な課題とそれらに対する解決案を詳細に提示し、第3章では利用例とコストシミュレーションを通じて、提案された手法の新規性と有用性を実証した。第4章で述べたプロトタイピングによる在庫管理システムは、業務の効率化に資する重要な特徴を具体化した。第5章ではシステムの実装方法とそれに伴うアルゴリズムとフローチャートを解説し、システムの信頼性を示した。

プロジェクトの初期段階で産学連携コンソーシアムを結成し、RFIDに関連する業務上の課題と要望を集約した。その情報を基に目的と目標を明確に設定し、導入の障壁となる課題を整理し、解決策を開発した。特に、RFID タグの読み取り誤り、RFID タグコストおよびソフトウェア開発と運用のコストが主要な障壁であったため、これらを解決するための具体的な技術と方法を導入した。具体的な解決策として、RFID タグを再利用可能にするシステムと、RFID リーダーをモバイル端末に統合するローコード開発プラットフォームを開発した。試作システムは、IAM 機構、在庫管理機構、システム管理機構の三つの主要部分で構成され、それぞれが特定の業務を効率的に支援する。IAM 機構は、ユーザのアクセス管理とデータ保護機能を担い、不正アクセスの防止に貢献している。在庫管理機構は、在庫データの正確な管理と追跡を可能にし、企業の資源計画に貢献している。システム管理機構は、デバイスの設定と監視を担当し、システムの維持とトラブルシューティングを効率的に行うための機能を提供している。実証実験を通じて、これらのシステムが機能性とコスト効率の両面で中小企業の業務プロセスを改善することが確認された。特に、自動化とエラー削減により、全体的な運用効率が向上したことが示された。これらの成果は、中小企業がデジタルテクノロジーをより広く利用することで競争力を高めるための重要なステップである。

本研究は、業界全体での更なる標準化の必要性を主張し、将来的に RFID を活用した業務システムの互換性と拡張性を高めるためのガイドラインを提案したい。また、継続的な技術改善と市場動向への適応が今後の展望として求められる一方で、他業界への応用も視野に入れ、新たなネットワーク経営の形態を形成する基盤となることを期待する。

## 参考文献・引用文献

- [1]安立成洋, 佐々木喜一郎, 『中小企業における RFID 導入の課題解決に向けた取り組み』, 情報処理学会, 第86回全国大会講演論文集, 社会環境と情報システム (3) 5F-06, 2024-03-16
- [2]田代英男, 『RFID を活用した加工食品流通の効率化の方向性』, 流通経済研究所, 流通情報 55(3), 31-41, 2023
- [3]浦恵里加, 笹川真奈, 椎尾一郎, 『RFID 読取時間履歴を用いた物探し支援の提案と実装』, 情報処理学会, 第84回全国大会講演論文集, 209-210, 2022-02-17
- [4]和田美野, 『RFID を活用したネットスーパーにおける食品ロス削減実証実験 : 流通・購買データの一元管理と消費者の行動変容』, 日本工業出版, 月刊自動認 35(4), 37-41, 2022-04
- [5]長島慎二, 『RFID を活用したアンドロイド端末でのアパレル検品システム(特集 モバイル環境・クラウド環境と自動認識)』, 日本工業出版, 月刊自動認 34(4), 8-15, 2021-04
- [6]森茂智彦, 山口穂高, 藤巻吾朗, 『木製家具製造業における棚卸の効率化の基礎検討と棚卸支援 Web アプリケ

- ーションの開発』, 情報処理学会, 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), 2021-EC-60(1), 1-7, 2021-05-25
- [7]古村浩志, 『物流 DX に貢献する自動認識技術 RFID・画像認識とのハイブリッド活用主流に: 日本自動認識システム協会(特集 物流テック最前線: 自動認識、ロボティクスから DX 人材育成まで)』, 流通研究社, 月刊マテリアルフロー62(12), 16-25, 2021-12
- [8]勝泉夏生, 笹川真奈, 椎尾一郎, 『RFID タグ検出履歴からのタグ間距離・方向推定による物探し支援』, 情報処理学会, 研究報告モバイルコンピューティングとパーベシブシステム (MBL), 2020-MBL-94(56), 1-8, 2020-02-24
- [9]芦田誠, 楊凱舜, Ashida Makoto, Yang Kai-Shun, 『サプライチェーン・マネジメントにおけるスマート化への進展過程』, 拓殖大学経営経理研究所, 拓殖大学紀要(115), 5-21, 2019-03
- [10]増田悦夫, 『店舗におけるレジの省力化・効率化策の動向と今後の展望』, 流通経済大学流通情報学部, 流通経済大学流通情報学部紀要 23(2), 25-43, 2019-03
- [11]『ここまで進んだ小売り・物流の RFID 活用 普及の条件が分かった』, 日経 BP, ビジネス=Nikkei business (2004), 44-48, 2019-08-19
- [12]『RFID(ビームス): アパレル業界で活用が広がるサプライチェーン効率化の実例 (特集 労働集約型産業の終焉: 新技術の可能性 無人化、自動化、ドローン、ロボットなど)』, 国際商業出版, 月間激流 42(4), 55-57, 2017-04
- [13]遠藤孝顕, 宮本鷹知子, 丸子淳一, 大塚祐史, 川野信夫, 『シリーズ座談会企画 アパレル物流の未来を探る (その1)RFID RF タグ導入でアパレル・サプライチェーンの高度化・IoT 実現へ: アパレル各社が相次ぎ実用開始・本格普及期に』, 流通研究社, 月刊マテリアルフロー58(7), 66-74, 2017-07
- [14]『アサヒ・リンク, イオンリテール向け共配センター個品 RFID タギングでアパレル商品入荷検品・仕分けを自動化・正確化(特集 ICT で次世代流通システム)』, 流通研究社, 月刊マテリアルフロー57(3), 18-23, 2016-03
- [15]長島慎二, 『RFID とクラウドサービスによるリアルタイム在庫可視化事例: アパレル業界で導入が進む RFID の活用事例紹介(特集 物流における業務改善)』, 日本工業出版, 月刊自動認 29(9), 20-26, 2016-08
- [16]山内秀樹, 山口賢史, 『アパレル小売りの生産性向上に RFID は寄与するのか』, 日本経営工学会, 経営システム = Communications of Japan Industrial Management Association 24(4), 207-213, 2015-01
- [17]長島慎二, 『アパレル物流・店舗における UHF 帯 RFID の活用(特集 これからの店舗システム)』, 日本工業出版, 月刊自動認 28(2), 6-10, 2015-02
- [18]中川一位, 石川宣昭, 『RFID 海外最新事情(上)欧米のアパレル業で進化する RFID 衣料品の在庫管理は“予知”の段階へ』, 流通研究社, 月刊マテリアルフロー56(4), 44-48, 2015-04
- [19]長島慎二, 『アパレル物流における UHF 帯 RFID の活用(特集 進化を続ける物流の仕組み)』, 日本工業出版, 月刊自動認 28(8), 19-23, 2015-08
- [20]『欧州現地取材レポート(3)アパレル・雑貨全品に RFID, 清算・在庫管理・盗難防止他にフル活用: 独マルコポーロ・ミュンヘン店(特集 物流オート ID・IT 最前線)』, 流通研究社, 月刊マテリアルフロー56(9), 24-29, 2015-09
- [21]内田涼仁, 武田茂樹, 鹿子嶋憲一, 『書籍に貼り付けた 2.45 GHz 帯 RFID タグの同時読取り時に発生するデッドスポットに関する評価』, 電子情報通信学会, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J95-B, No. 3, 483-487, 2012-03-01