

卒業研究報告

題目

センシング技術を用いたモビリティショッピング端末の開発

指導教官

高橋寛教授

王森レイ講師

報告者

真鍋 樹

令和2年～月～日提出

愛媛大学工学部情報工学科情報システム工学講座

目次

第 1 章 まえがき	1
第 2 章 準備	3
2.1 諸定義	3
2.2 商品識別システムの概要	5
第 3 章 商品識別システムの設計	8
3.1 要求定義	9
3.2 基本設計	14
3.2.1. Web カメラの選定	16
3.2.2. 超音波センサの選定	17
3.2.3. ロードセルの選定	17
3.3 詳細設計	18
第 4 章 実装・検証	23
4.1 実装	23
4.2 検証	26
4.2.1. 詳細設計の検証	26
4.2.2. 単体テスト	27
4.2.3. 結合テスト	29
4.2.4. 総合テスト	30
第 5 章 評価・考察	31

第 6 章 あとがき	33
謝辞	34
参考文献	35

第 1 章

まえがき

本論文では，Web カメラと超音波センサ，ロードセルなどのセンサを用い，安価なモビリティショッピング端末の開発を行った．

近年の日本において，少子高齢化の進行により，生産年齢人口は 1995 年をピークに減少に転じており，総人口も 2008 年をピークに減少に転じている [1]．生産年齢人口の減少という問題は，スーパーマーケットにも顕著に表れており，人手不足対策のためセルフレジやセミセルフレジの導入，無人レジ店舗の導入が進んでいる．しかしながら，売り場規模別のセルフレジの設置率については，大規模店舗中心型が 25%を越えているのに対し，小規模や中規模の企業はそれぞれ 7.1%，7.4%[2] と低い状態となっている．また，今後のセルフレジの設置意向について，アンケートに新たに設置したいと回答した割合が，都市圏では 8.8%なのに対し，地方圏では 14.0%[2] と高くなっている．人手不足が続くなか，利用者のレジ待ち時間を解消するため，精算スピードが速くなるセルフ精算レジの導入意向が高くなって [2] いることが分かる．人手不足の著しい地方圏のスーパーマーケットや小規模や中規模の企業へセルフレジの導入が進んでいない理由としては，コストがかかることが要因として挙げられる．無人レジ店舗においては数十台のカメラやセンサが必要であったり，商品すべてに独自の IC タグを埋め込む必要があったりなど大きなコストを要するものとなっている．また，既存のスーパーマーケットにおいても，セルフレジの導入は費用の面で大きな負担がかかっているのが現実の問題としてあることが考えられる．そこで，既存の無人レジ店舗のような複雑で高価なシステムではなく，小規模や中規模の企業でも導入できる安価な

システムの作成を本研究の目的とした。

本研究ではシングルボードコンピュータである Raspberry Pi と Web カメラ，各種センサを用い，商品の識別から決済に至るまでの一連の流れを行えるシステムの開発を行った。V 字モデルに従って，グループ（段原丞治，真鍋樹）で商品識別システムの開発を行った。要求分析，基本設計，詳細設計の際は UML を用いた。

本論文の構成は下記のとおりである。第 2 章では本研究で用いる用語や研究方針，本システム全体の概要について述べる。第 3 章では V 字モデルに従った本システムの設計について述べる。第 4 章では，モビリティショッピング端末の実装と検証結果について述べる。第 5 章では実装・検証した本システムの評価を行い，考察を示す。第 6 章では本研究のまとめを行う。

第 2 章

準備

本章では，本論文で使用する用語，研究方針のフロー，本システム全体の概要について述べる．

2.1 諸定義

V 字モデル

V 字モデルとはソフトウェアの開発と確認の流れを模式的に示したものである．以下の図 2.1 に V 字モデルの開発プロセスを示す．横軸は開発の時間軸であり，縦軸は詳細化の程度を表している [4]．図 2.1 からわかるように，詳細設計は単体テスト，基本設計は結合テストによって，要求分析は総合テストによって検証する．また，逆にテスト段階で判明した不具合は，左側の対応する設計にさかのぼった作業を必要とする [5]．本研究ではプロセスモデルとして V 字モデルを採用した．

UML(Unified Modeling Language)

UML とは統一モデリング言語 (Unified Modeling Language) のことで，ビジネスや各種システムを対象としてその構造とダイナミクス (動的な振る舞いや挙動) をわかりやすく表現するためのビジュアルな言語 [3] である．UML の導入により，下記のような効用がもたらされる [3]．

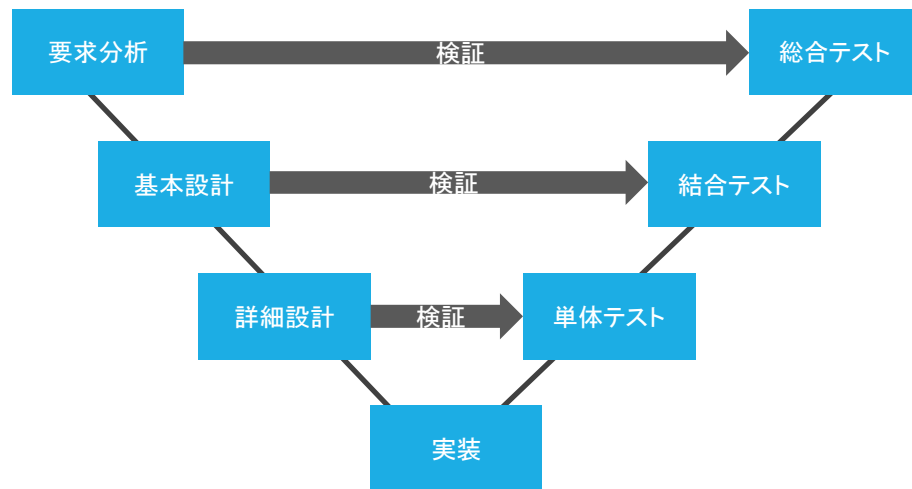


図 2.1. V字開発モデル

- ユーザと開発者、または開発者どうしのコミュニケーションギャップの解消.
- ユーザ要求の把握が正確になることで、仕様の認識違いによる出戻りの削減.
- UML によるオブジェクト指向設計が効果的にモジュール化を促進し、保守コストを削減.

ユースケース図

ユーザの視点でシステムの機能的な流れを記述する記述法 [5] であり、システムの使用イメージを表現する。システムがどのように機能すべきかという振る舞い（ユースケース）と、その外部環境（アクター）を表す。ユーザやクライアントの要求事項、システムに対して課せられている基本機能やサービス項目などの要件定義を表現するときに広く用いられる [3].

クラス図

システムをデータの視点から記述する図法 [5] であり、システムが扱う情報構造を表す。問題領域の構造や対象システムの静的な構成、システムの詳細設計、あるいは企

業の部門の業務モデルの基本構造，問題解決の最初のとっかかりとなる概念マップの構築，といったことに広く使うことができる [3].

シーケンス図

システムの一機能を実行の視点から記述する図法 [5] であり，システム機能がオブジェクトのメッセージのやり取りによってどのように達成されるかを示す．オブジェクト間のメッセージのやりとりを時系列に沿って並べて表現したもの [3] がシーケンス図である．

2.2 商品識別システムの概要

商品識別システムでは，Web カメラと Raspberry Pi，各種センサを各買い物カゴに設置し，従来のセルフレジやセミセルフレジに比べて安価かつ簡単に決済できる買い物提案する．

本研究において対象として設定したスーパーマーケットを下記の表 2.1 に示す．

表 2.1. 対象スーパーマーケット

店舗	売場面積 (平方メートル)	レジ台数	カゴ数
小規模店舗，中規模店舗	1,200	7 台	90 個

表 2.1 を対象として設定した理由を下記に述べる．本研究では小規模店舗と中規模店舗のスーパーマーケットを対象とする．小規模店舗は「売場面積 $800m^2$ 未満」あるいは「売場面積 $800m^2 \sim 1,200m^2$ 未満」の店舗，中規模店舗は「売場面積 $800m^2 \sim 1,200m^2$ 未満」または「売場面積 $1,200m^2 \sim 1,600m^2$ 未満」[2] の店舗を指す．本研究では，小規模店舗と中規模店舗の平均である，売り場面積 $1,200m^2$ の店舗を本研究の対象の店舗とする．売場面積 $1,000m^2$ あたりレジ台数は，平均 5.7 台 [2] のため，対象の売場面積 $1,200m^2$ の店舗ではレジ台数平均 6.84 台と仮定できる．四捨五入してレジ台数は 7 台とし，対象のレジ台数とする．また，売場面積が $1,200m^2 \sim 1,600m^2$ のスーパーマーケットの場合，平日レジ一台あたり一日客数は中央値として 225.5 人 [2] である．なお，

平均営業時間は 12.3 時間 [2] のため、一時間あたり約 18 人の客がレジを使用すると予測できる。1 人につき 1 個のカゴを使用しピーク時等の客入りを 5 倍、かつ店内に滞在する時間を 1 人につき 1 時間と仮定すると、約 90 個のカゴが必要と仮定した。

本システムの流れを図 2.2 に示す。

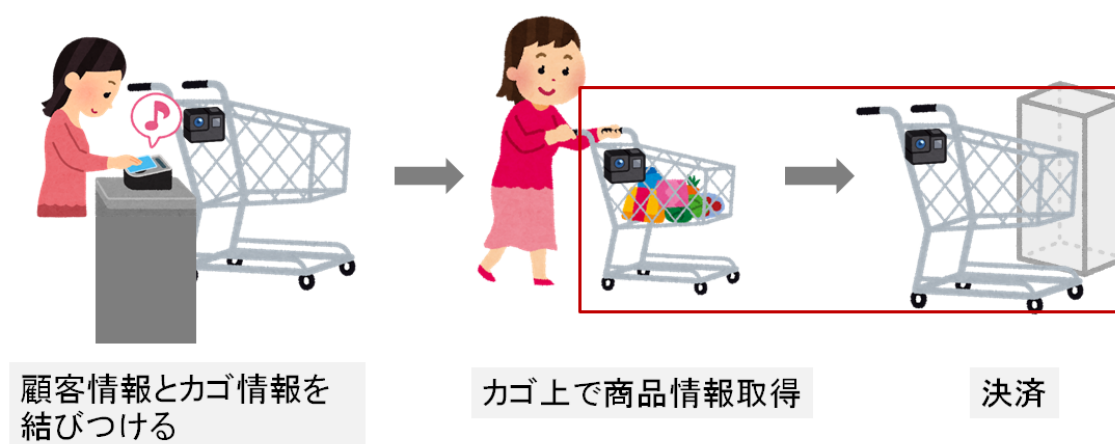


図 2.2. 商品識別システム全体の流れ

まず、顧客情報をカゴ情報と結び付ける。その後顧客はカゴに通常通り商品を入れる。その際、センシング技術を用い、カゴ上で商品情報を取得しサーバへ情報を送信する。買い物を終える際は、カゴを返却するだけで決済が行われる流れとなる。本研究では商品識別システム全体の流れについて設計を行ったが、最終的には、優先度が高い機能とした図 2.2 にある赤枠の範囲である、カゴ上で商品情報を取得し決済を行う部分を開発対象とした。上記範囲の商品識別システムのイメージ図を以下の図 2.3 に示す。

商品識別システムは識別・決済等を行うサーバ側、Raspberry Pi と Web カメラ、各種センサを設置した買い物カゴである Raspberry Pi 側の 2 つのパートで構成される。商品を各種センサが検知した際、Web カメラで商品のバーコードを撮影し、画像データ等をサーバへ送信する。サーバでは商品のバーコード情報等を識別し、最終的に決済を行う。実装の際は、サーバ側を段原丞治が、Raspberry Pi 側を真鍋樹が担当した。本論文ではシステム全体の流れを商品識別システムと呼び、システム全体の中でのモビリティショッピング端末の開発を筆者が担当した。

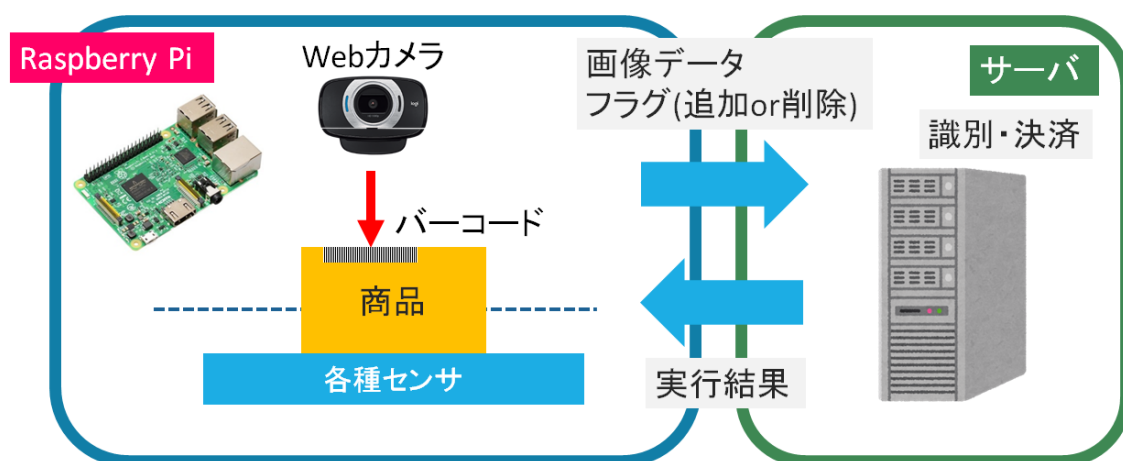


図 2.3. 商品識別システムのイメージ図

第 3 章

商品識別システムの設計

本章では、V 字モデルによる商品識別システムの要求定義，基本設計，詳細設計について述べる．商品識別システムでは，全ての設計を通して，下記の 3 点を基本の評価軸とした．

- 従来のセルフレジよりコストは抑えられるか．
- 既存の中小店でも導入が容易か．
- 従来のセルフレジより簡単な動作で決済まで行えるか．

上述の「従来のレジよりコストは抑えられるか．」という評価軸には，カゴ 90 台を導入するコストと，登録機 1 台 1,875,000 円と精算機 2,750,000 円 × 7 台として，合わせておよそ 21,125,000 円 [2] とレジの店員分の人件費を合わせたコストを比べた際，よりコストを抑えられるかという意味を含んでいるとする．また，上述の「従来のレジより簡単な動作での決済まで行えるか．」という評価軸は，従来の店員のように，商品を手に取り，バーコードリーダーで商品のバーコードを読み取り，カゴへ入れるという動作と全く同じ動作をしないという意味を含んでいるとする．

本章の構成について，3.1 節ではユースケース図を用いて，商品識別システムの要求定義を述べる．3.2 節ではクラス図を用いて，商品識別システムの基本設計について述べる．3.3 節ではシーケンス図を用いて商品識別システムの詳細設計を述べる．

3.1 要求定義

商品識別システムがどのように機能すべきかという振る舞いと、その外部環境を表すためにユースケース図を作成した。以下に最初に作成した図 3.1 を載せる。

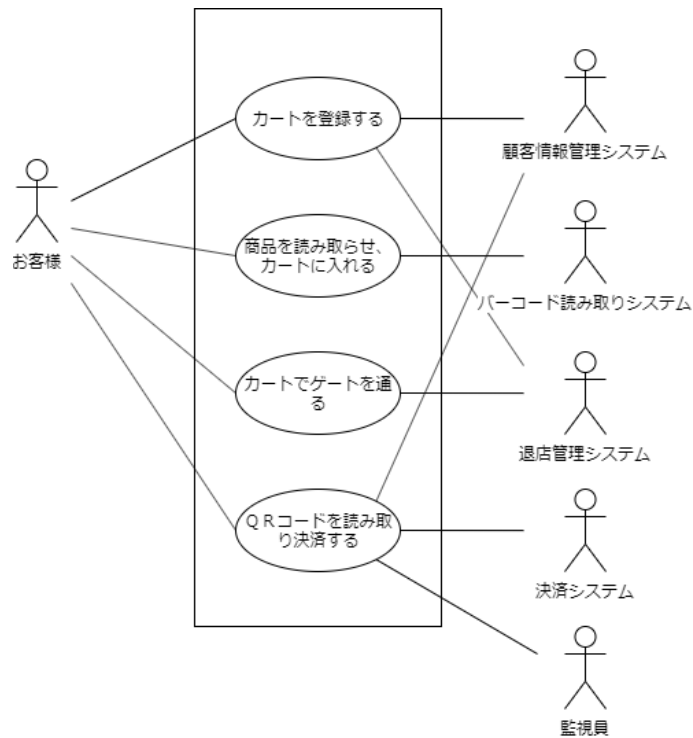


図 3.1. ユースケース図 (1)

図 3.1 においてユースケースとしてはカゴの登録、商品をカゴに入れる、カゴを持ってゲートを通る、QRコードを読み取り決済するの 4 つとした。カゴ情報と顧客情報の管理をカゴの登録とカゴでゲートを通るの 2 つのユースケースで行おうと設計したが、簡単に決済まで行えるという前提から、ユースケースの数が少ないほうが手順が減り簡単という評価軸により適すると考え、ユースケースを見直し、全体のユースケース数を削減した。

ユースケースを見直しユースケースの数を減らしたユースケース図は図 3.2 に示す。

図 3.2 では、QRコードを読み取り決済していた部分を、カゴの返却時カゴの情報と顧客情報と結び付け、自動的に決済を行う仕様としたためユースケースが 3 つとなり

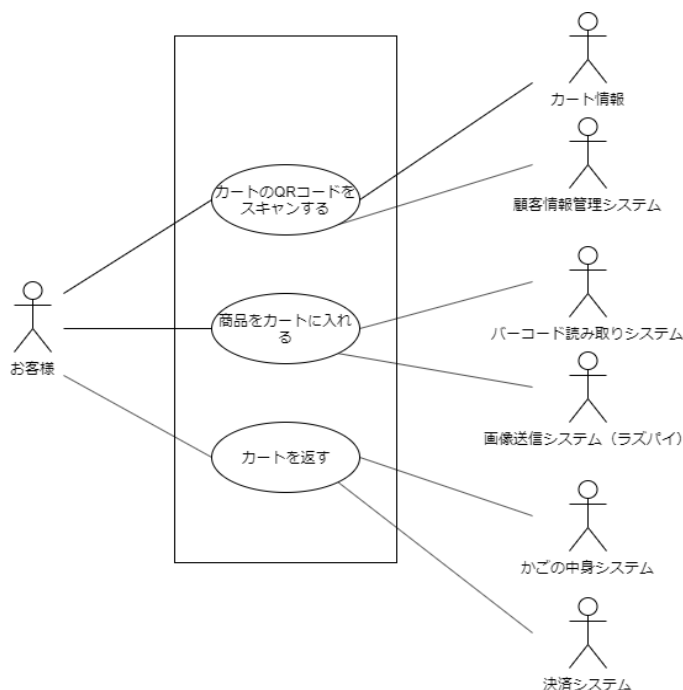


図 3.2. ユースケース図 (2)

より簡素化された．登録・買い物・決済の3つのユースケースである．

また，買い物の段階で商品の画像を送信することを考慮した際，カゴに取り付けることのできる小型サイズであり低価格かつ低消費電力のシングルボードコンピュータを用いることとした．シングルボードコンピュータとしては，複数のタスクを動かすことができ，ネットワーク接続に長けた Raspberry Pi を選定した．

ここで，問題となったのは登録として，カゴ情報と顧客情報を結びつけたり，解除したりする方法である．QRコードを用いる案と，ICタグを用いる案の2つの案について検討すべく，それぞれの案についてシナリオとユースケース図を作成し，後に優先度の高い範囲を部分を切り出した．

QRコードを用いた場合の商品識別システムのシナリオは下記の表 3.1 のとおりである．

また，QRコードを用いた商品識別システムのユースケース図を図 3.3 に示す．

図 3.3 においては，まずカゴに QR コードを印刷したものを貼りつける．QR コードには固有のカゴ情報が含まれており，読み取ると Web ページへ遷移し顧客情報を入力

表 3.1. QR コードを用いたシステムのシナリオ

	シナリオ
登録	カゴの QR コードを顧客が読み取る
買い物	商品を置く→バーコード認識→商品 DB 追加・削除→結果通知
決済	カゴの QR コードをゲートが読み取る→決済を行う

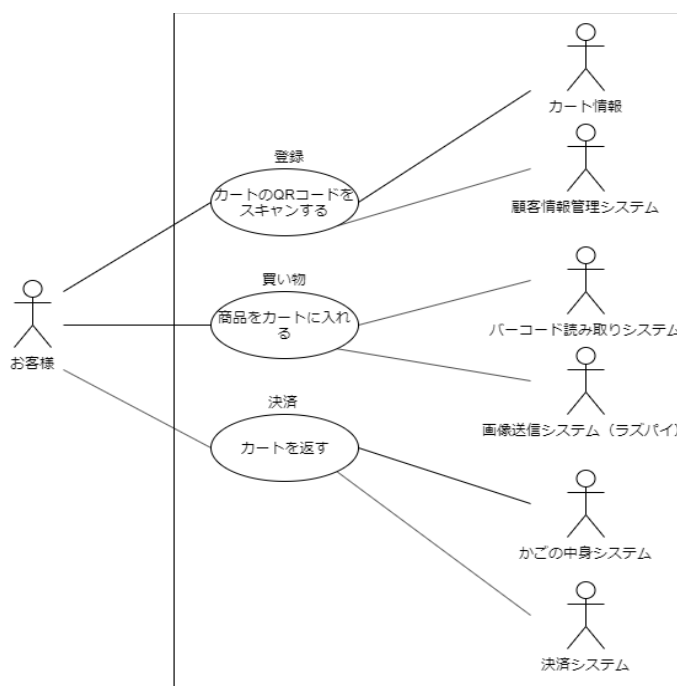


図 3.3. QR コードを用いたシステムのユースケース図

する流れとなる。QR コードを来店時顧客が携帯電話等で読み取り、カゴ情報を顧客情報を結びつける。退店時は出口ゲートに設置した Web カメラでカゴの QR コードを読み取り、カゴ情報と顧客情報を管理する。

次に、IC タグを用いた場合の商品識別システムのシナリオを下記の表 3.2 へ、IC タグを用いた商品識別システムのユースケース図を図 3.4 に示す。

図 3.4 においては、カートもしくはカゴに IC タグを取り付け、入退店時にリーダーを設置したゲートを通ることで、カゴ情報と顧客情報を管理する。

表 3.2. IC タグを用いたシステムのシナリオ

	シナリオ
登録	カゴの IC タグをゲートが読み取る
買い物	商品を置く→バーコード認識→商品 DB 追加・削除→結果通知
決済	カゴの IC タグをゲートが読み取る→決済を行う

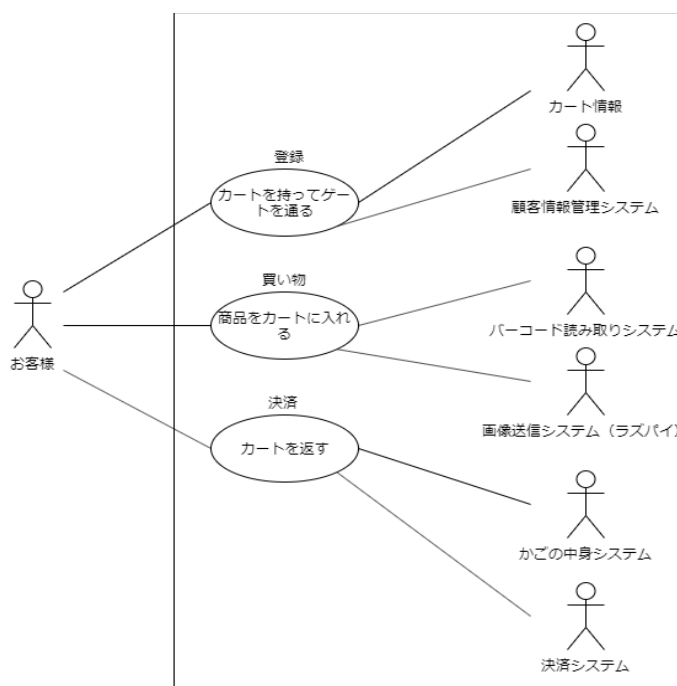


図 3.4. IC タグを用いたシステムのユースケース図

それぞれの入退店時の案について基本の評価軸を用い、下記の表 3.3 で評価した。

評価した結果、より QR コードを用いる案のほうがコストの面で優れている。しかしながら、簡単に決済まで行えるかという基準においては、携帯電話のカメラを起動して読み込む動作を顧客が行わなければならない点から QR コードを用いる案はあまり優れていないといえる。要求分析の段階ではどちらの案がよいかはわかりかねたため、基本設計・詳細設計までそれぞれの案について設計した。

また、最終的に本研究で実装対象とした優先度の高い項目部分においてのシナリオ

表 3.3. 評価表

	QR コード	IC タグ
従来のセルフレジよりコストは抑えられるか	○	×
既存の中小店でも導入が容易か	○	△
従来のセルフレジより簡単な動作で決済まで行えるか	×	○

とユースケース図は下記の図 3.5 と表 3.4 のとおりである。

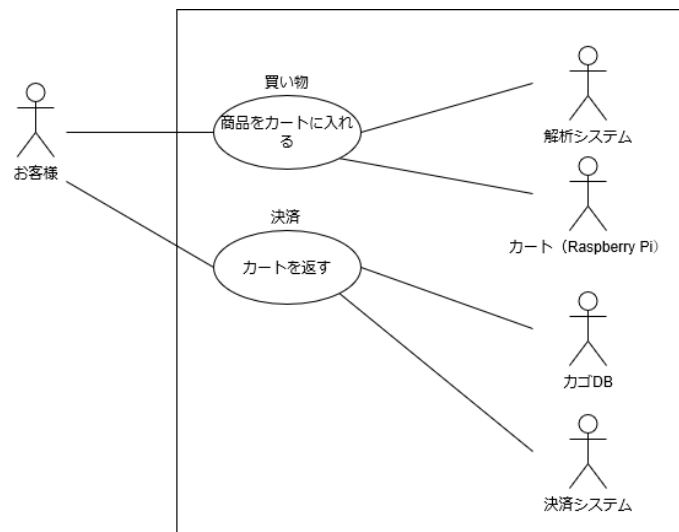


図 3.5. 高優先度のシステムのユースケース図

表 3.4. 高優先度のシステムのシナリオ

	シナリオ
買い物 決済	商品を置く→バーコード認識→商品 DB 追加・削除→結果通知 決済を行う

3.2 基本設計

問題領域やシステムの構造を論理的、静的にみるためにクラス図を作成した。以下に IC タグを用いた商品識別システムのクラス図として、図 3.6 を載せる。

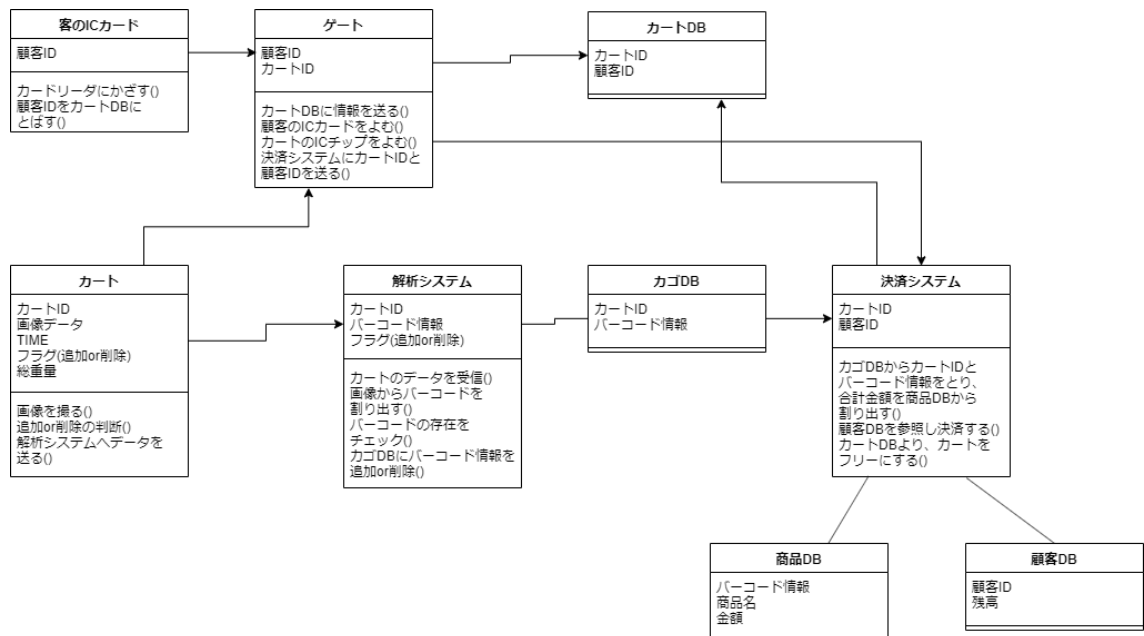


図 3.6. IC タグを用いたシステムのクラス図

以下に QR コードを用いた商品識別システムのクラス図、図 3.7 を載せる。

図 3.6 と図 3.7 の違いは、ユーザ情報の登録をユーザの IC タグから行うか、ユーザの形態から行うかという違いである。本研究では、クラスとしてカート（カゴ）・解析システム・カゴ DB・商品 DB の部分を開発対象とした。開発対象となる部分については、IC タグを用いた場合と QR コードを用いた場合とで違いはないため、そのまま本

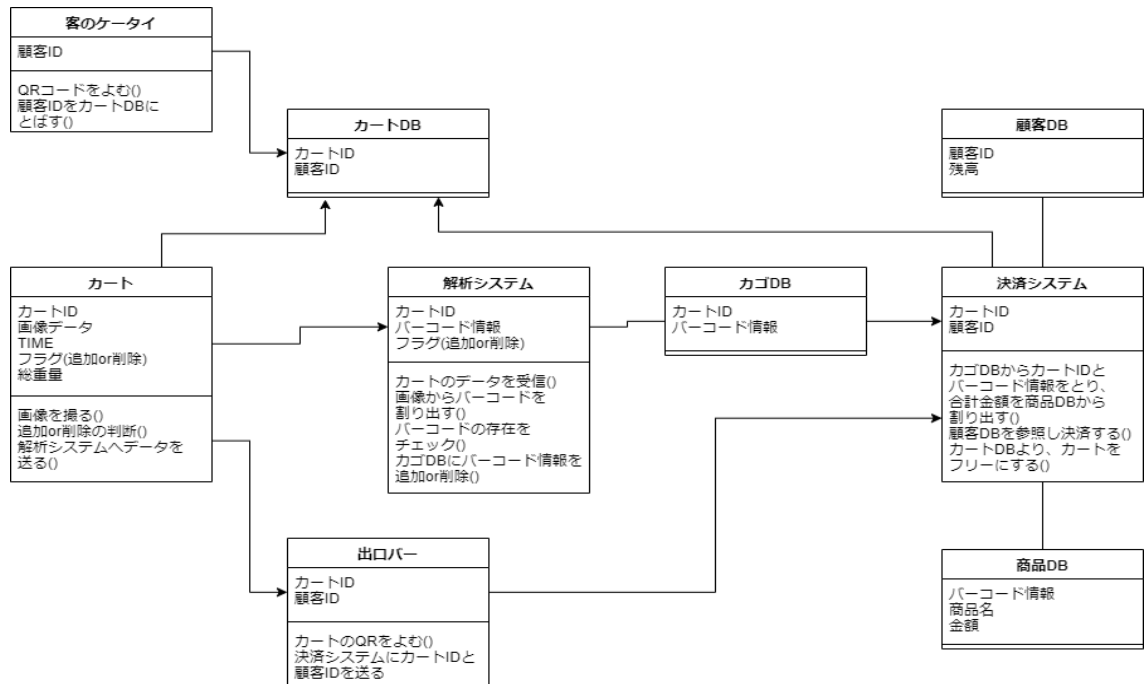


図 3.7. QR コードを用いたシステムのクラス図

研究で実装する優先度の高いシステムのクラス図をまとめて、図 3.8 に示す。

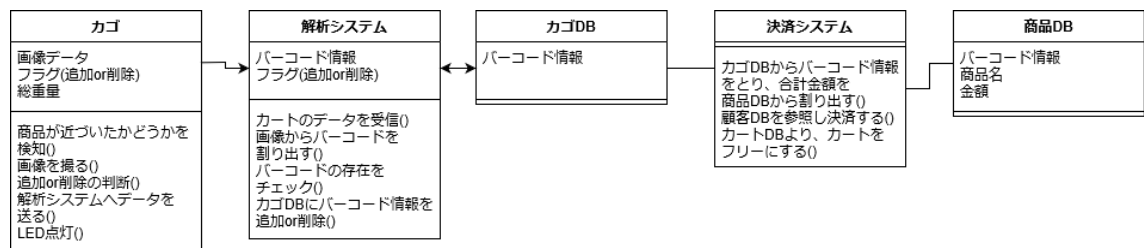


図 3.8. 高優先度のシステムのクラス図

図 3.8 において、筆者の担当した範囲はクラスとしては「カート (カゴ)」の部分である。カゴでは各種センサの制御と、解析システムへの情報の送信を行う。カゴは画像データと追加か削除のフラグ、総重量、超音波センサの情報を保持し、解析システムへ画像データとフラグをセットにし、送信する。

基本設計の段階で、それぞれの用途のために各種センサを選定した。下記に選定したセンサと選定理由を述べる。

3.2.1. Web カメラの選定

まず，バーコードを読み取る装置の選定である．本章の最初に述べた基本の評価軸より，コストを抑えられるか，従来のセミセルフレジより簡単な動作で決済まで行えるか，かつバーコードを読み取ることができる装置，加えて拡張性のある装置かどうかを基準として選定した．コストを抑えているかつバーコードを読み取ることができる装置として，バーコードリーダー，Web カメラが挙げられる．バーコードリーダーと Web カメラを比較した表を下記表 3.5 に示す．

表 3.5. バーコードリーダーと Web カメラの比較

	バーコードリーダー	Web カメラ
価格	○ 2,000 円台	○ 2,000 円台
動作の容易さ	×店員と同じ動作	△ バーコード向き制限有
バーコードの読み取り可否	○	○
拡張性	× バーコード読み取りのみ	○

価格はどちらも 2,000 円台から購入できるため，2,000 円のバーコードリーダーや Web カメラをカゴ 1 個につき 1 台分購入したとしてもカゴ 90 個で約 180,000 円とコストを抑えることが可能である．しかしながら簡単さにおいては，バーコードリーダーを使用する場合は従来のセルフレジと同じ動きをしなければならないため，×の評価がつく．Web カメラにおいては，カゴ 1 個につき 1 台を導入したとすると定点カメラとなるため，カメラ側にバーコードを向けるという手間がかかる．拡張性については Web カメラの場合，バーコードをカメラに向けなくても商品の形状から商品もしくは商品の種類をを特定できるようになる等の例が挙げられた．上記より要件を満たすとして，本研究ではバーコードを読み取る装置として Web カメラを選定した．

3.2.2. 超音波センサの選定

次に，ユーザが商品をカゴに出し入れした際の動作の検知を行う装置の選定を行った．消費電力を低く抑えるため，手もしくは商品が手もしくは商品がセンサの前を通った際のみに Web カメラが画像を撮影するという状況を想定した．検知するセンサとして，焦電型赤外線センサ，レーザ距離センサ，超音波センサが挙げられた．カゴの上部にセンサを設置するとしたとき，買い物カゴの奥行はおよそ 360mm 程であるため，その程度の距離に適しているか，また手や商品を通った時のみにセンサが反応するかを基準としてセンサの選定を行った．比較した表を下記の表 3.6 に示す．

表 3.6. 動作を検知するセンサの比較

	焦電型赤外線センサ	レーザ距離センサ	超音波センサ
価格	○ 500 円程度	△ 1,000 円程度	○ 500 円程度
適性距離	× 3～5m	○ 3～200cm	○ 2～400cm
反応要件	× 感知距離が広すぎる	△ 色による影響有	○ 色，形状，汚れに強い

上記の 3.6 より，超音波センサが要件を満たしている．以上より，本研究ではユーザが商品をカゴに出し入れした際の動作の検知を行う装置として超音波センサを用いた．

3.2.3. ロードセルの選定

ユーザが商品を追加するか削除するかを判別するために，ユーザがボタンを押すなどの特別な動作をしないと考えた際，カゴの底に台を設置し，重量を検知，重量が増加すれば追加，重量が減少すれば削除と判断するとした．その際，商品の重量を検知するセンサの選定を行った．重量を検知するセンサとして，感圧センサとロードセルが候補として挙げた．基本の評価軸から，コストは抑えられるか，商品の総重量が約 2kg 程だとすると 2kg まで検知できるかどうか，g 単位で重量の増加，減少を検知できるか，カゴの底面積の半分ほどの広さとして約 255 × 180mm を最低でも検知できるかを基準とし，選定をした．比較した内容を下記の表 3.7 に示す．

表 3.7. 重量を検知するセンサの比較

	感圧センサ	ロードセル
価格	△ 1,300 円程度	○ 600 円程度
検知できる重量	○ 100g～2kg 程度	○ 3kg 程度
感度, 精度	△ 100g 単位での検知	○ g 単位で検知可能
検知範囲	× 感知範囲が狭すぎる	○ ただし, 板設置要

表 3.7 において, 検知範囲が大きな感圧センサを比較対象として選んだものの, $40mm \times 40mm$ 程度とカゴの約半分の底面積を検知できかねる次第であった. また, 表には記載していないが, 感圧センサにおいては定常的な負荷に対して徐々に抵抗値が小さくなるという特性があるため, 本システムのような定常的な計測には向いていないと判断した. ロードセルにおいては, 感圧センサと比較した場合広範囲の検知が可能である. 以上より, 重量を検知するセンサとしてロードセルを採用した. ロードセルにはひずみゲージが配置してあり, そのひずみにより重量を感知するという性質上, ひずませるための空間を作る必要があるため, ロードセルの上下に板を設置する必要がある. 実装の際には, アクリル板を使用し組み立てを行った.

3.3 詳細設計

オブジェクト間のメッセージのやりとりを時系列に沿って表現するために, シーケンス図を作成した. 以下に IC タグを用いた商品識別システムのシーケンス図として, 図 3.9 を載せる.

図 3.10 は QR コードを用いたシステムのシーケンス図である.

図 3.9 と図 3.10 の違いはユーザ情報の登録の部分のみである. 詳細設計まで行ったが, IC タグを用いたシステムと QR コードを用いたシステムの評価は 3.1 節から大きく変化しなかった. 買い物と決済の設計においては共通しているため, そのまま優先度の高いシステムである下記の図 3.11 部分を実装する.

図 3.11 において筆者の担当した部分はメッセージ 2～6, 10, 11 の部分である. 各

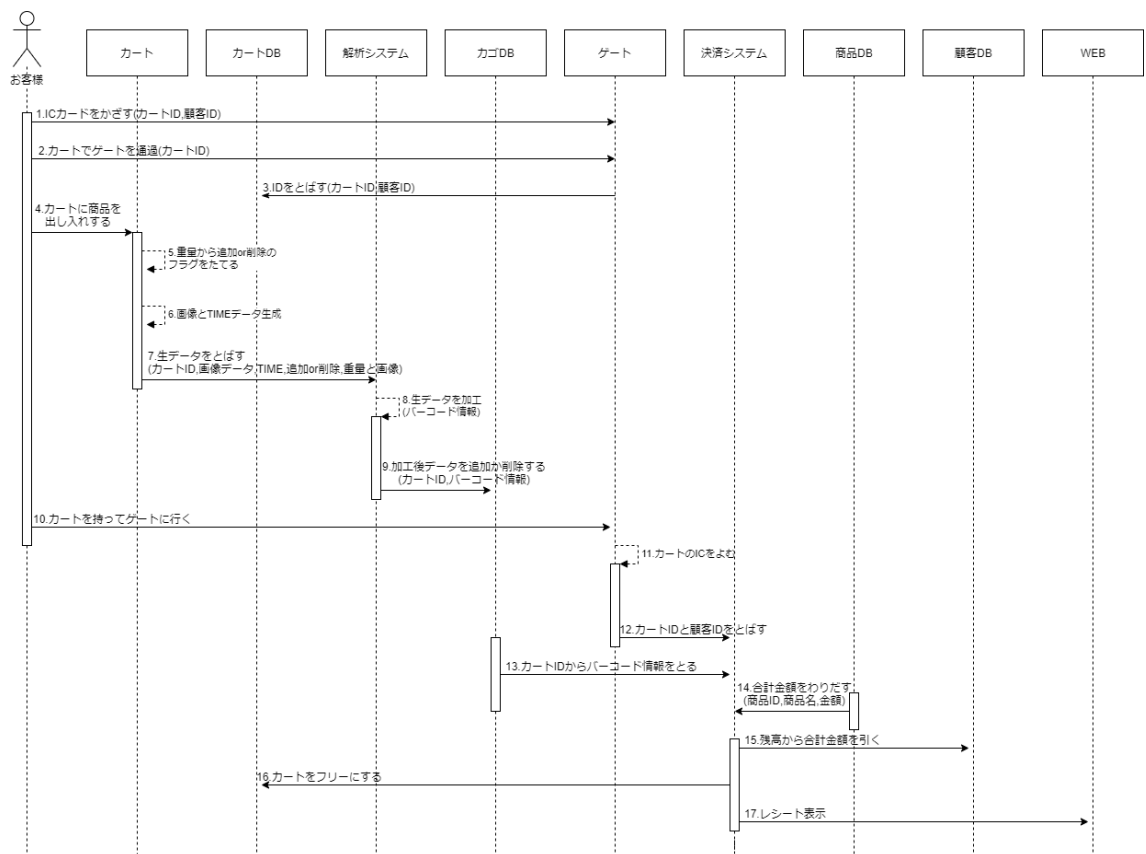


図 3.9. IC タグを用いたシステムのシーケンス図

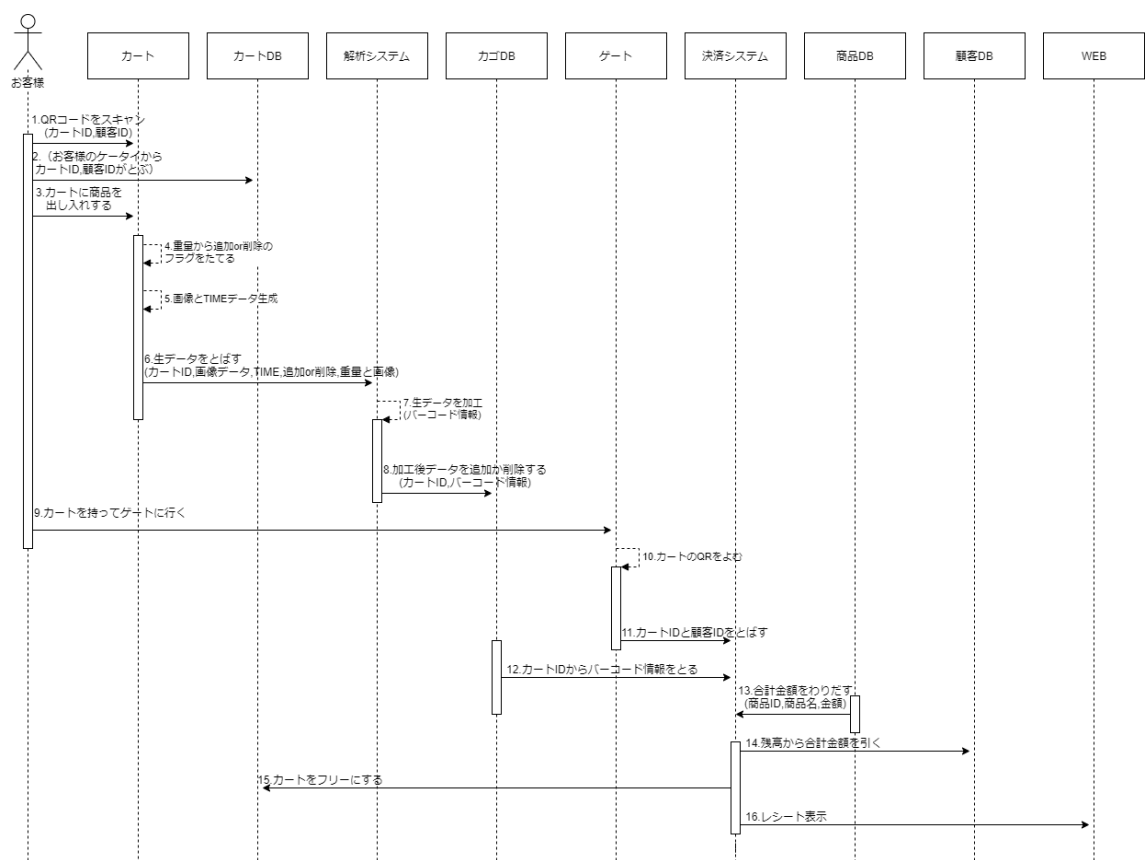


図 3.10. QR コードを用いたシステムのシーケンス図

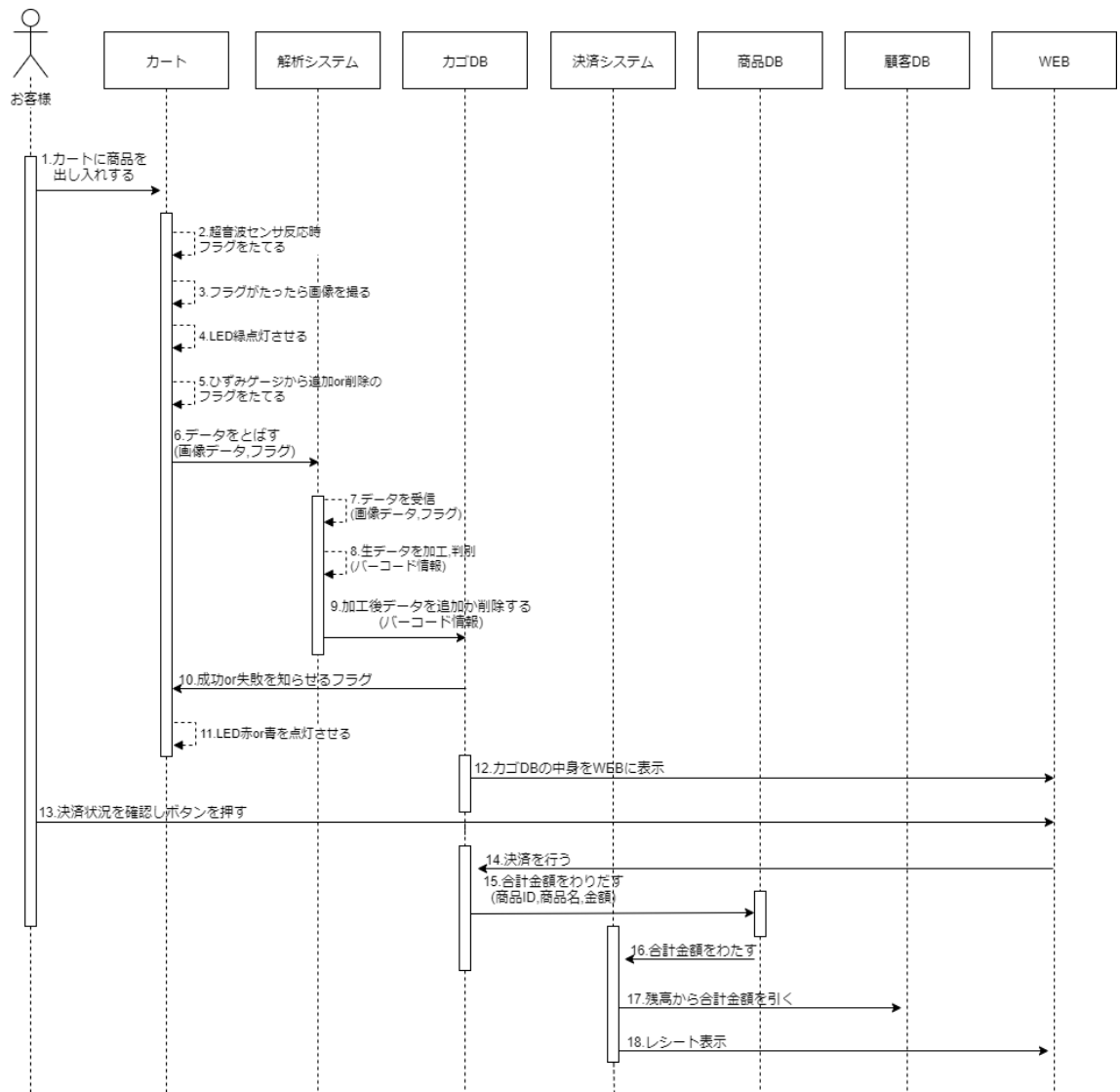


図 3.11. 高優先度のシステムのシーケンス図

メッセージの詳細を下記に示す.

2. 超音波センサ反応時にフラグをたてる.
3. フラグがたったら, 0.5 秒に一度, 合計 6 枚の画像を撮り, データ送信用配列にデータを追加する.
4. 画像を撮ったことをユーザに知らせるために LED 緑を点灯させる.
5. ロードセルより重量が増加したか減少したかを確認し, 増加の場合は追加として 1, 減少の場合は削除として 2 のフラグをたて, キューへフラグを追加する. ただし, $\pm 3\text{g}$ の増減は誤差とする.
6. 追加, 削除のフラグが入っているキューを参照し, データ送信用配列にフラグ情報を追加し, 画像データと合わせてサーバへ送信する.
10. バーコード情報を正しく読み取れたか, 読み取れなかったかを知らせるフラグをサーバから受信する.
11. サーバがバーコード情報を正しく読み取ることができた場合は LED 青を, 正しく読み取ることができなかった場合はユーザに再度商品の追加, 削除を促すため LED 赤を点灯させる.

第 4 章

実装・検証

本章では V 字モデルの開発プロセスに従い，実装および検証を行った．4.1 節では，各設計に基づいて行った実装について述べる．4.2 節では詳細設計を単体テストによって，基本設計を結合テスト，要求分析を総合テストによって検証した結果を示す．

4.1 実装

第 3 章で述べた優先度の高い機能部分について実装を行った．本研究ではグループで開発を行った．サーバ側の精算システムを段原丞治が，Raspberry Pi と各種センサを含むモビリティショッピング端末を筆者が実装した．Raspberry Pi は Raspberry Pi 3 Model B を使用した．Raspberry Pi の実装環境については下記，表 4.1 に示す．

表 4.1. Raspberry Pi 環境

使用機器	Raspberry Pi3 Model B
OS	raspbian9
CPU	1.2GHz
メモリ	1GB

Raspberry Pi が制御した各種センサの実装環境について表 4.2 に示す．

表 4.2. 実装環境

センサ	個数
ロジクール ウェブカメラ C615	1
HY-SRF05 超音波距離センサモジュール	1
ロードセル シングルポイント (ビーム型)3kg	1
SODIAL(R) 100 5mm (LED)	3

上記のセンサをショッピングバスケットに取り付け、実装を行った。表 4.2 に述べた各種センサの選定については 3.2 節に述べたとおりである。ショッピングバスケットのサイズは 33L、寸法は W510 × D360 × H240mm である。ショッピングバスケットを以下カゴと呼ぶ。また、対象の商品として、小規模店舗、中規模店舗にも取り扱いがありそうな菓子として DARS とコアラのマーチを選定した。

Web カメラはカゴの W510 × D180 × H150mm の位置に、カメラを底に向けて設置した。180 × 180mm のアクリル板をネジでロードセルに留め、Web カメラから 100mm 下に設置した。超音波センサの設置場所については、Web カメラと同じ高さの 2 種類の高さの両方の設置場所で実装した。LED については緑、青、赤の 3 色の LED を抵抗と共にブレッドボードに設置した。

サーバとの通信

ユーザが商品を追加、削除した際のみに、Web カメラより画像を撮る。画像データの後に追加もしくは削除のフラグをセットにしてサーバへ送信する。送信のタイミングは 3.3 節で述べたメッセージのとおりである。

各種センサの制御

それぞれのセンサを制御するために python を開発言語として使用した。センサを稼働し続けるためにはループ処理を行う必要がある。しかしながら、ループ外でセンサが閾値を超えたかどうかを確認する必要もあったため、センサの処理は別スレッドで

動作させることとした。各センサは以下の動作をさせるよう実装した。

■超音波センサ

商品，もしくは手を感知した際にフラグをたてる。システム起動の際，超音波センサからカゴの端までの距離を測り，その値を初期値とする。その初期値から値が減少していた場合フラグをたてる。ただし，初期値+30mm は誤差とする。

■ Web カメラ

超音波センサより，フラグがたった際に 0.5 秒に一度，合計 6 枚の画像を撮る。データ送信用配列にデータを追加する。

■ロードセル

重量の増減を感知した際にフラグをたてる。増加したときに 1 のフラグを，減少したときに 2 のフラグをたてる。フラグをキューへ追加する。ただし， $\pm 3g$ の増減は誤差とする。

■ LED

超音波センサのフラグがたった時，画像撮影開始をユーザに知らせるために緑色の LED を点灯させる。サーバへデータを送信後，バーコード情報を正しく読み取ることができたというフラグを受けとった際は青色の LED を，読み取ることができなかったというフラグを受けとった際はユーザに再度商品の追加，削除を促すために赤色の LED を点灯させる。

4.2 検証

4.2.1. 詳細設計の検証

まず、各種センサが要件を満たすかどうか検証した。

Web カメラ

対象商品をカメラから 100mm, 150mm, 200mm と離し、バーコードを読み取れるかテストを行った。カゴの高さが 240mm かつ、Web カメラの設置場所はカゴの上部 90mm のため、150～200mm 程度までバーコードが認識できれば構わないとする。

はじめに、Web カメラとしてロジクール C270 を使用し、テストを行った。しかしながら、全ての画像のピントが合っておらず、バーコードを読み取ることができなかった。より画質が高く、ピントの合いやすいスマートフォンのカメラで撮影した動画でバーコード読み取りを試したところ、100mm, 150mm 程度まで読み取ることができたため、バーコード読み取りシステムの不具合ではなかったことが判明した。画素数もしくはピントを合わせる機能が問題になっていると仮定した。

次に、Raspberry Pi カメラモジュール V2 を使用し、テストを行った。Raspberry Pi カメラモジュール V2 については画素数はロジクール C270 の約 6.6 倍の画素数のため、もし画素数に問題があるならば判明すると思った。Raspberry Pi カメラモジュール V2 をテストしたところ、ロジクール C270 と同じようにピントが合わず、バーコードを読み取ることができなかった。

画素の問題でないことが判明したため、オートフォーカスモデルのロジクール C615 を使用しテストを行った。バーコードの読み取り距離について要求を満たしたため、表 4.2 に最終的な実装環境として記載したとおり、ロジクールウェブカメラ C615 を記載した。

超音波センサ

超音波センサが正しく反応しているか、要求を満たしているかテストを行った。要求としてはカゴの横幅 360mm なので、360mm 以内を 10mm 程ずつ測ることができる

かどうか確認した。超音波センサは正しく反応し、360mm以上の距離を1mmより小さい距離ずつ測ることができ、要求を満たした。

ロードセル

ロードセルが正しく反応しているか、要求を満たしているかテストを行った。要求として、重量の増減を確認できるか、3kgまでの重量を1g程ずつはかることができるかどうか確認した。ロードセルは正しく反応し、対象商品を1gより小さい値ずつ測ることができた。そのためロードセルは要求を満たした。

LED

LEDが正しく点灯するかどうか確認した。各LEDを抵抗と共にブレッドボードに設置し、点灯するかテストしたところ、正しく点灯した。

4.2.2. 単体テスト

V字モデルに従い、詳細設計を満たしているかどうかを確認する。実装対象の各単体テストの内容を表4.3、表4.4、表4.5、表4.6に示す。

表 4.3. 超音波センサの単体テスト

	テスト	確認内容
超音波センサ	1	超音波センサの初期値を取得する
	2	超音波センサから現在の値を取得する
	3	変化がないとき、フラグを立てない
	4	手もしくは商品を検知したとき、フラグを立てる
	5	*商品を置いたとき、LED緑を点灯させる

単体テストの第一段階として、確認内容の頭に*印のついていないテスト項目の機能テストを行った。*印のついていないテスト項目についてはLEDの点灯に関するものであり、追加を優先する機能ではないと判断し、第二段階のテストに含めた。第一段階の単体テストは動作を確認できたため、第二段階として確認内容の頭に*印のついてい

表 4.4. ロードセルの単体テスト

	テスト	確認内容
ロードセル	1	初期値を取得する
	2	歪ゲージより現在の値を取得する
	3	商品を置いたとき、商品の重量を取得する
	4	商品を置いたとき、フラグとして1を返す
	5	商品を置かないとき、フラグとして1や2を返さない 初期値の0を返す
	6	商品を取り除いた場合、フラグとして2を返す

表 4.5. Web カメラの単体テスト

	テスト	確認内容
WEBカメラ	1	画像を撮る
	2	商品を置かなかったとき、画像を撮らない

表 4.6. 単体テスト

	テスト	確認内容
データ送信	1	画像をサーバに送信する
	2	フラグをサーバに送信する
	3	*正しく商品追加・削除できたとき、LED青を点灯(3秒)させる
	4	*正しく商品追加・削除できなかったとき、LED赤を点灯(3秒)させる
	5	*LED青・赤がそれぞれ点灯・点滅した後、すべてのLEDを消灯

るテスト項目を含む機能テストを行った。*印のついているテスト項目についても動作を確認できた。

4.2.3. 結合テスト

V字モデルに従い、基本設計を満たしているかどうかを確認する。各実装対象の結合テストの内容を表4.7に示す。

表 4.7. 結合テスト

	テスト	確認内容
超音波センサ	1	超音波センサの初期値を取得する
	2	超音波センサから現在の値を取得する
	3	変化がないとき、フラグを立てない
	4	手もしくは商品を検知したとき、フラグを立てる
	5	*商品を置いたとき、LED緑を点灯させる
歪ゲージ	6	初期値を取得する
	7	歪ゲージより現在の値を取得する
	8	商品を置いたとき、商品の重量を取得する
	9	商品を置いたとき、フラグとして1を返す
	10	商品を置かないとき、フラグとして1や2を返さない 初期値の0を返す
WEBカメラ	11	商品を取り除いた場合、フラグとして2を返す
	12	商品を置いたとき、6枚画像を撮る
データ送信	13	商品を置かなかったとき、画像を撮らない
	14	画像をサーバに送信する
	15	画像をサーバに送信後、追加・削除のフラグをサーバに送信する
	16	*正しく商品追加・削除できたとき、LED青を点灯(3秒)させる
	17	*正しく商品追加・削除できなかったとき、LED赤を点滅(3秒)させる
	18	*LED青・赤がそれぞれ点灯・点滅した後、すべてのLEDを消灯

結合テストの際も、*印以外のテスト項目の機能テストを第一段階として行った。テスト項目14, 15の画像をサーバに送信する際、Webカメラから撮影した画像とフラグをセットする順番について問題があった。超音波センサが反応するタイミングとロードセルが反応するタイミングが固定ではなく、どちらが先になるかが予想できなかった

た．画像とフラグをセットにしてデータを送信する際，画像が先に届くか，フラグが先に届くかが決まっている必要があったため画像とフラグをセットにする方法について考慮する必要があった．解決策として，フラグをキューへ追加し，画像撮影後，画像を画像用の配列へ追加，その後キューからフラグを取り出し，画像の後にフラグを入れセットにして送信する方法をとった．画像を撮影後，キューが空の場合はフラグがたつまで一定時間待機することとした．上記方法で再度テストを行ったところ，正しく動作を確認した．*印を含める第二段階のテストを行い，動作を確認できた．

4.2.4. 総合テスト

V字モデルに従い，要求分析を満たしているかどうかを確認する．各実装対象のシナリオに基づいた総合テストの内容を表4.8に示す．

表 4.8. 総合テスト

シナリオ	確認の流れ
買い物	1-1 商品をカゴに入れ、超音波センサ反応時画像を撮りLEDを点灯させる。
	1-2 重量センサより商品追加・削除の情報をサーバへ送る。
	1-3 バイナリーデータを画像にフラグに変換する。
	1-4 Yoloを使用して画像の中のバーコードのみを切り取る。
	1-5 バーコード番号を解析する。
	1-6 商品のバーコード情報を確認する。
	1-7 商品を商品DBに追加・削除する。
	1-8 商品を正常に商品DBに追加できたかどうか結果をLED点灯にて通知する。
決済	2-1 カートを選択する。
	2-2 商品を確認し、決済を行う。

総合テストでは，3.1節の表3.4のシナリオに沿って動作しているかを確認する．シナリオより確認の流れを表4.8より確認した．

第 5 章

評価・考察

本章では本システムを評価することにより、今後の課題について述べる。

まず、本システムを評価する。3 章で設定した、3 点の基本の評価軸より評価する。評価したものを書き表 5.1 に示す。

表 5.1. システムの評価

基本の評価軸	評価
従来のセルフレジよりコストは抑えられるか	○
既存の中小店でも導入が容易か	△
従来のセルフレジより簡単な動作で決済まで行えるか	△

表 5.1 を上から順に説明する。従来のセルフレジよりコストは抑えられるかという評価軸について、2.2 節で述べた表 2.1 のスーパーマーケットを対象にして確認をする。Raspberry Pi の価格は 5,700 円程度、各種センサと周辺機器の合計価格は 3,500 円程度のため、カゴにかかる合計価格は約 9,200 円とする。サーバと周辺機器にかかる価格を約 150,000 円とする。サーバ 1 台約 150,000 円とカゴ 90 個約 828,000 円とすると、本システムでかかる価格は約 978,000 円となり、従来のセルフレジとして 2.2 節で仮定した登録機 1 台と精算機 7 台の合計価格の約 5%程の価格となることが分かった。上記の理由から、従来のセルフレジよりコストを抑えられるとした。

次に、既存の中小店でも導入が容易かという評価軸においては、現段階では容易で

はないため△とした。Raspberry Pi や各種センサがしっかりと固定されておらず、誰でも導入ができるわけではないことが今後の課題となる。また、保守の点においてもセンサ類等がカゴに設置されるため、保守が難しくなるであろうという問題点もある。しかし、これからしっかりと固定できるような状況ができれば、既存の買い物カゴに設置できる規模感であるため可能性がある。また、保守についても、抑えられたコストから少数の人員を割くことができ、解決ができるだろう。

次に、従来のセルフレジより簡単な動作で決済まで行えるかという評価軸においては、現時点では、商品のバーコードを読み取らせるために商品を回転させ、バーコードリーダーを操作するような動作は必要はないが、バーコードを Web カメラに向けて台に置く必要があるため△とした。また、精度についても各センサの誤作動もあるため、完全であるとは言い切れない。簡単な動作で決済まで行えるかどうかについては問題点となる。しかしながら、バーコードが Web カメラに向けて置かれなかった場合についても、YOLO の開発が進めば商品のジャンルを判定できる可能性がある。また、ロードセルより重量のデータを得ることができるため、重量データと掛け合わせて商品を確定することができる可能性もある。画像識別の技術開発が進めば、バーコード情報だけでなく商品の情報を読み取ることができるという利点を持つ Web カメラをモビリティショッピング端末に用いているため拡張性があるといえる。よって今後解決や開発が進めば可用かつ拡張性のあるシステムであると考えた。

第 6 章

あとがき

本論文ではセンシング技術を用いたモビリティショッピング端末の開発を行った。V 字モデルに従い、要求分析，基本設計，詳細設計を行い，グループで役割分担をし開発を行った。システム全体の設計としては，UML を用いて方針を固めた。実装においては，優先度の高い機能を実装し，それぞれの単体テスト，結合テスト，総合テストを通して動作を確認し，評価を行った。検証を行う際，問題があった場合はそれぞれの設計に戻り，再度検証を行った。検証を行ったシステムを評価軸に沿って評価し，今後の課題について考察した。本システムは小規模店舗，中規模店舗を対象とし，コストを抑えたシステムとして先発性がある。本システムの開発が進めば，小規模店舗，中規模店舗での人手不足問題が解消される。本研究により本システムは今後拡張性があり，低コストで運用ができる可能性を持つシステムであることを確認した。

謝辞

本研究を進めるにあたり，懇篤な御指導，御鞭撻を賜りました本学高橋寛教授に深く御礼申し上げます。

本論文の作成に関し，詳細なるご検討，貴重な御教示を頂きました本学樋上喜信准教授ならびに王森レイ講師に深く御礼申し上げます。

また，審査頂いた本学〇〇教授ならびに〇〇准教授に深く御礼申し上げます。

最後に，多大な御協力と貴重な御助言を頂いた本学工学部情報工学科情報システム工学講座高橋研究室の諸氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 平成 28 年版 情報通信白書 | 人口減少社会の到来, 総務省,
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc111110.html>,
2016-07
- [2] 一般社団法人 全国スーパーマーケット協会, 年次統計調査 2019 年
調査, <http://www.super.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/2019nenji-tokei.pdf>,
2019-10
- [3] 株式会社 オージス総研, かんたん UML[増補改訂版], 株式会社 翔泳社, 2003
- [4] 阪田史郎, 高田広章, 組込みシステム, 株式会社 オーム社, 2006
- [5] 小泉寿男, 辻 秀一, 吉田 幸二, 中島 毅, ソフトウェア開発, 株式会社 オーム
社, 2003
- [6] レジチョイス編集部, 価格・製品特徴比較, <https://rejichoice.jp/semi-self-regi/>,
2020-01-15