

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	15
3.2.1. Web カメラの選定	15
3.2.2. 超音波センサの選定	18
3.2.3. ロードセルの選定	18
3.3 詳細設計	19
第 4 章 実装・検証	23
4.1 実装	23
4.2 検証	24
4.2.1. 詳細設計の検証	24
第 5 章 評価・考察	25
5.1 評価	25
5.2 考察	25
第 6 章 あとがき	26

謝辞	27
----	----

参考文献	28
------	----

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、安価な商品識別システムの開発を行った。

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、新たに設置したい割合が、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、お客様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] おり、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の導入が進んでいない要因としてはコストがかかることが挙げられる。無人レジ店舗においても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である。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，商品識別システムの概要について述べる．第 3 章では V 字モデルに従った商品識別システムの設計について述べる．第 4 章では，商品識別システム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，商品識別システム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]．

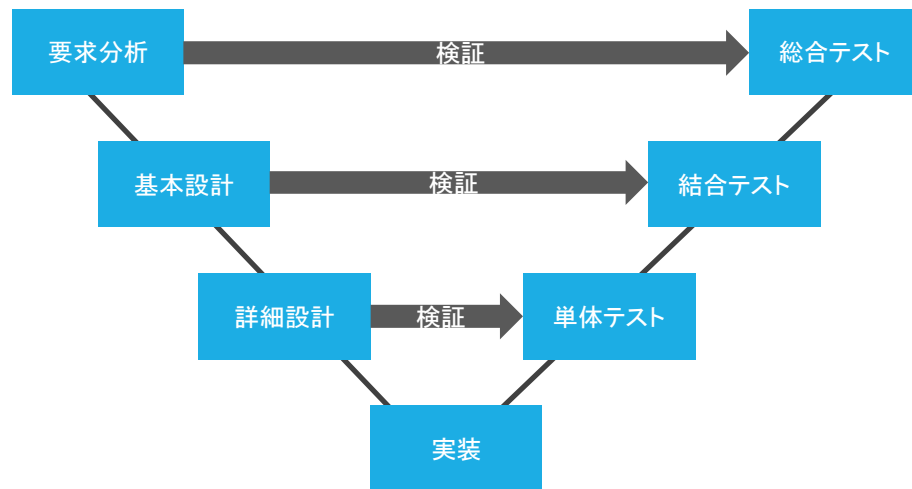


図 2.1. V字開発モデル

- 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 [3] うことができる。

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。本論文ではシステム全体の流れとシステム内上記の範囲を商品識別システムと呼ぶ。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。

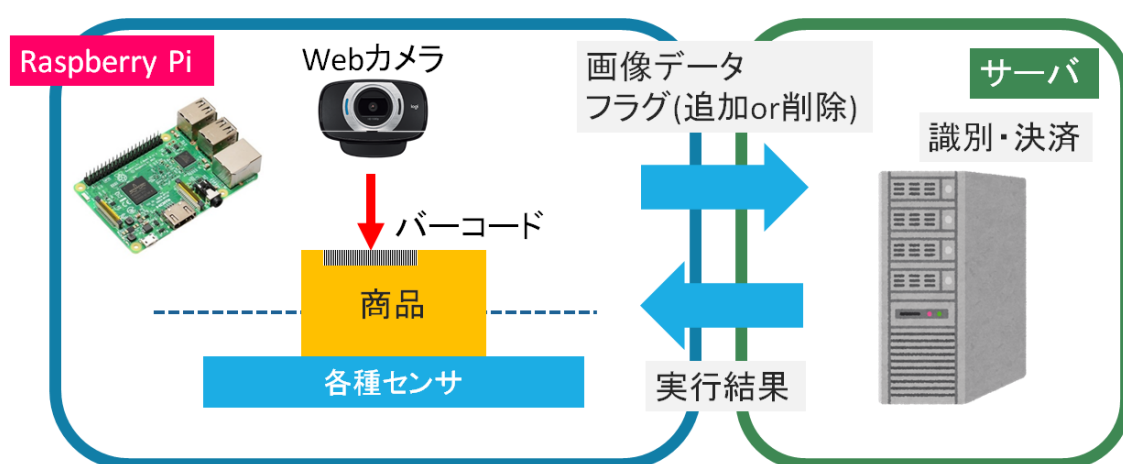


図 2.3. 商品識別システムのイメージ図

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．
- 従来のセミ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，従来のレジの店員のように，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．

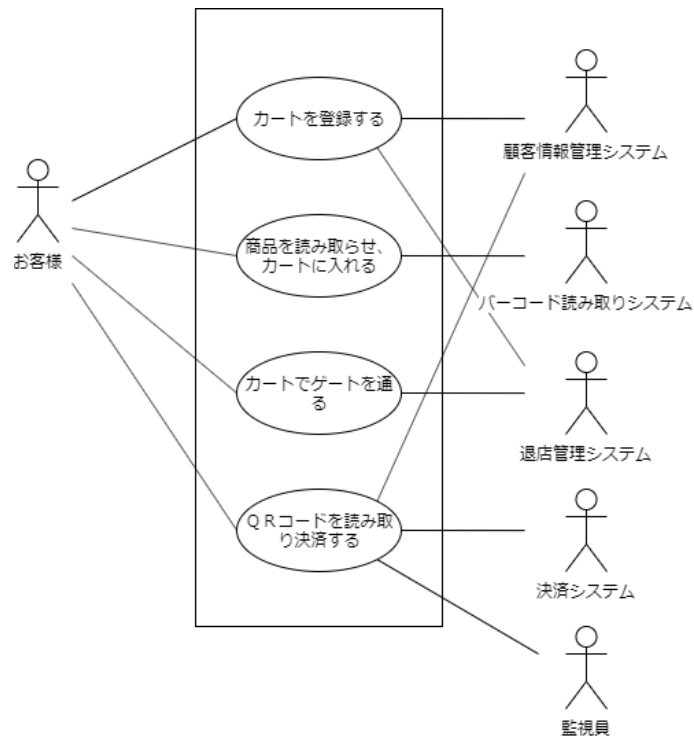


図 3.1. ユースケース図 (1)

図 3.1 においてユースケースとしてはカートの登録，商品をカートに入れる，カートでゲートを通る，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ートの登録とカートでゲートを通るの 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条件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，カート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

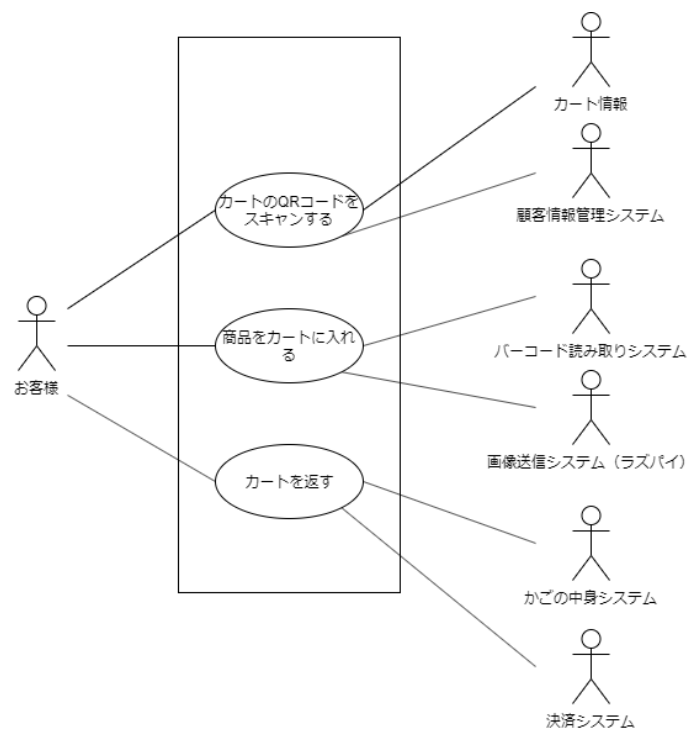


図 3.2. ユースケース図 (2)

りより簡素化された．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，カゴに取り付けられ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段階である，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，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．

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 においては，まず QR コードを使用しカートもしくはカゴに QR コードを印刷したものを貼りつけ，それを入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 カメラでカートもしくはカゴの 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．

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

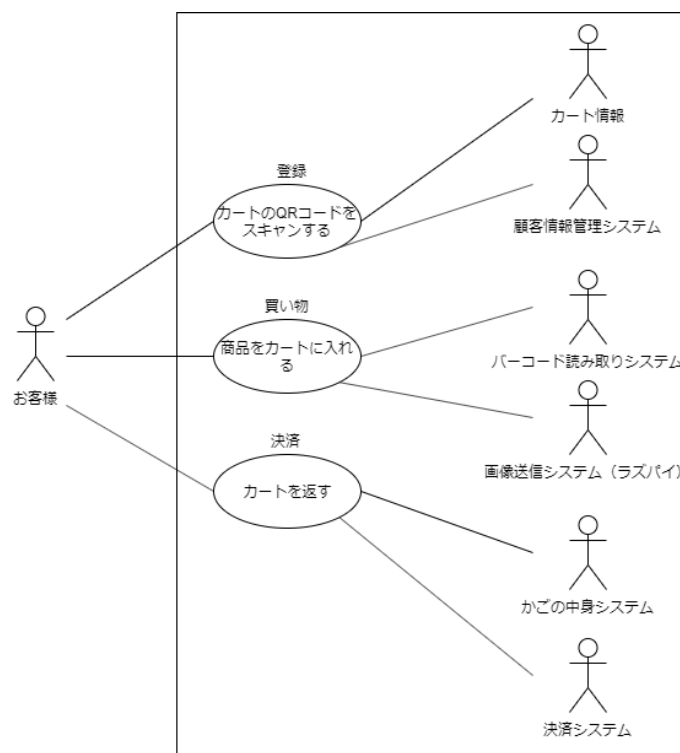


図 3.3. QR コードを用いたシステムのユースケース図

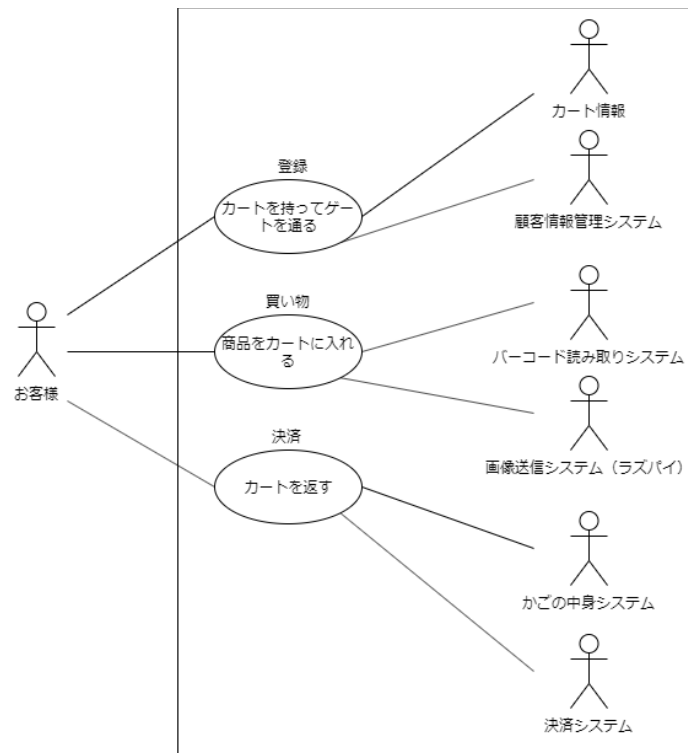


図 3.4. IC タグを用いたシステムのユースケース図

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

表 3.3. 評価表

案	コスト	導入の容易さ	簡単さ
QR コード	○	○	×
IC タグ	×	△	○

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とユースケース図は下記の表 3.4 と図 3.5 のとおりである。

表 3.4. 高優先度のシステムのシナリオ

	シナリオ
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	決済を行う

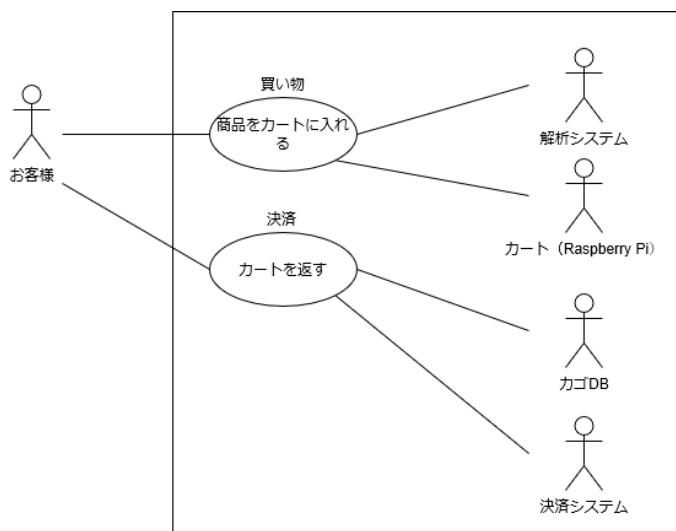


図 3.5. 高優先度のシステムのユースケース図

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．

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．

本研究では，クラスとしてカート・解析システム・カゴDB・商品DBの部分を開発対象とした．本研究で実装する優先度の高いシステムのクラス図を図 3.8 に示す．

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．

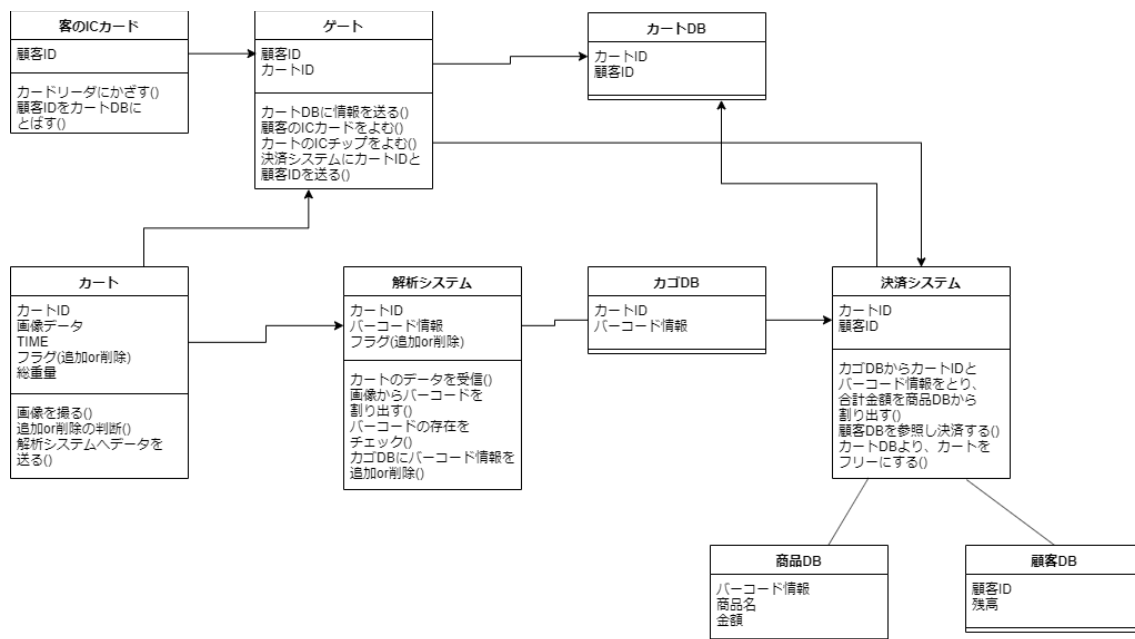


図 3.6. IC タグを用いたシステムのクラス図

表 3.5. バーコードリーダーと Web カメラの比較

装置	価格	簡単さ	バーコードの読み取りの可否	拡張性
バーコードリーダー	○	×	○	×
Web カメラ	○	△	○	○

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 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ミセルフレジの店員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。

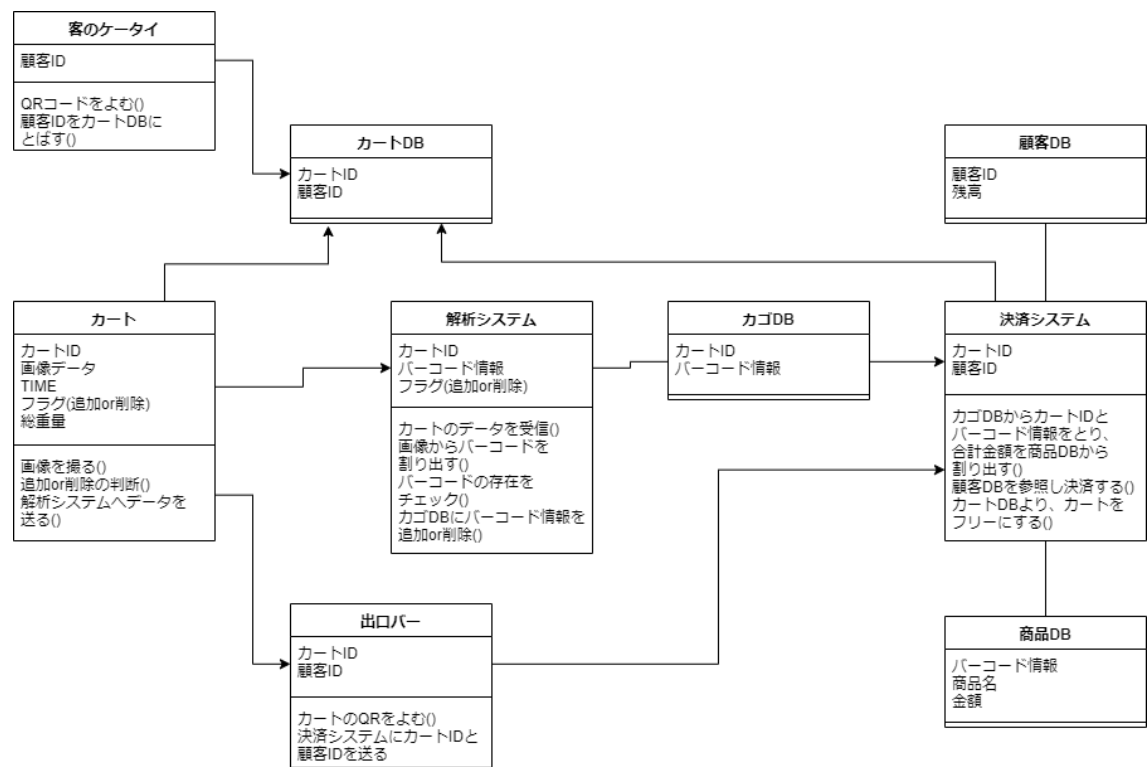


図 3.7. QR コードを用いたシステムのクラス図

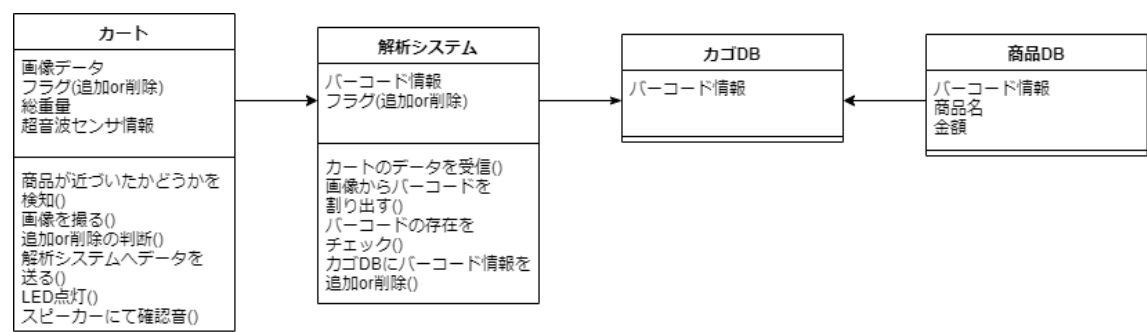


図 3.8. 高優先度のシステムのクラス図

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，また手や商品が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

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, 図 3.9 を載せる。

以下の図 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。

本研究では, 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。

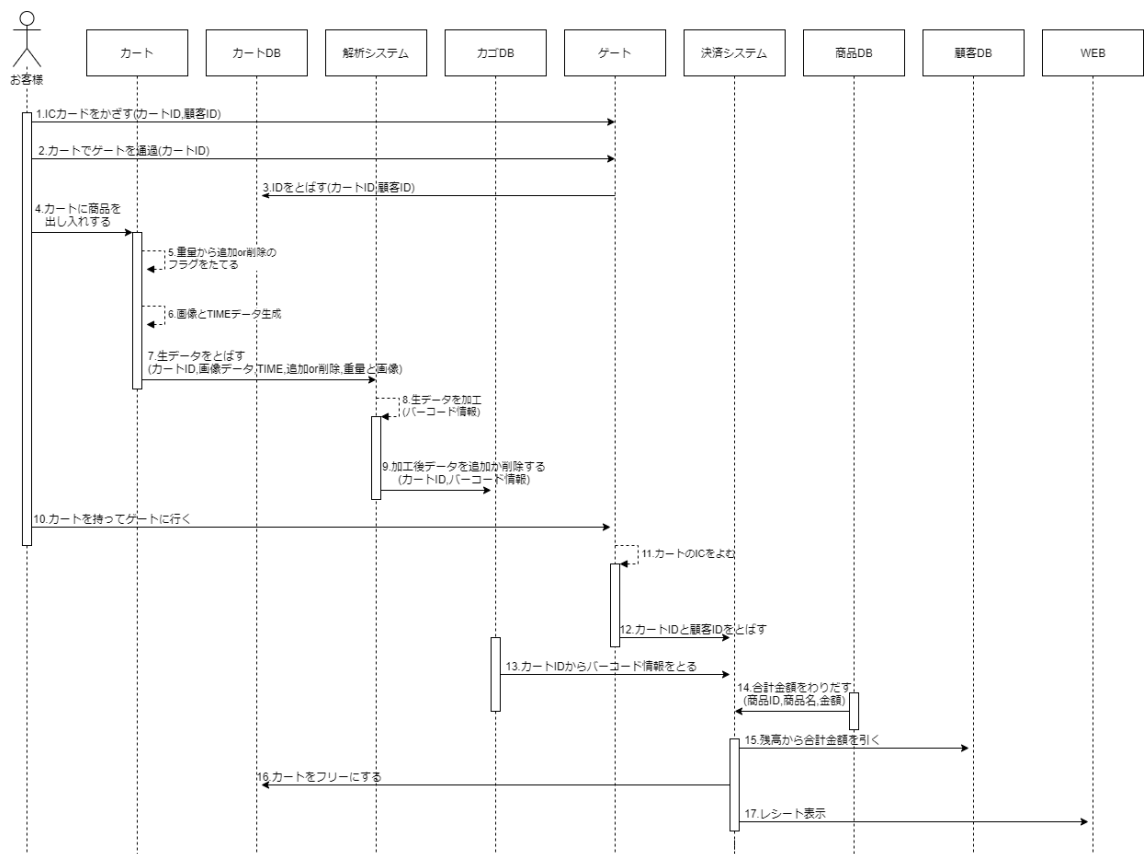


図 3.9. IC タグを用いたシステムのシーケンス図

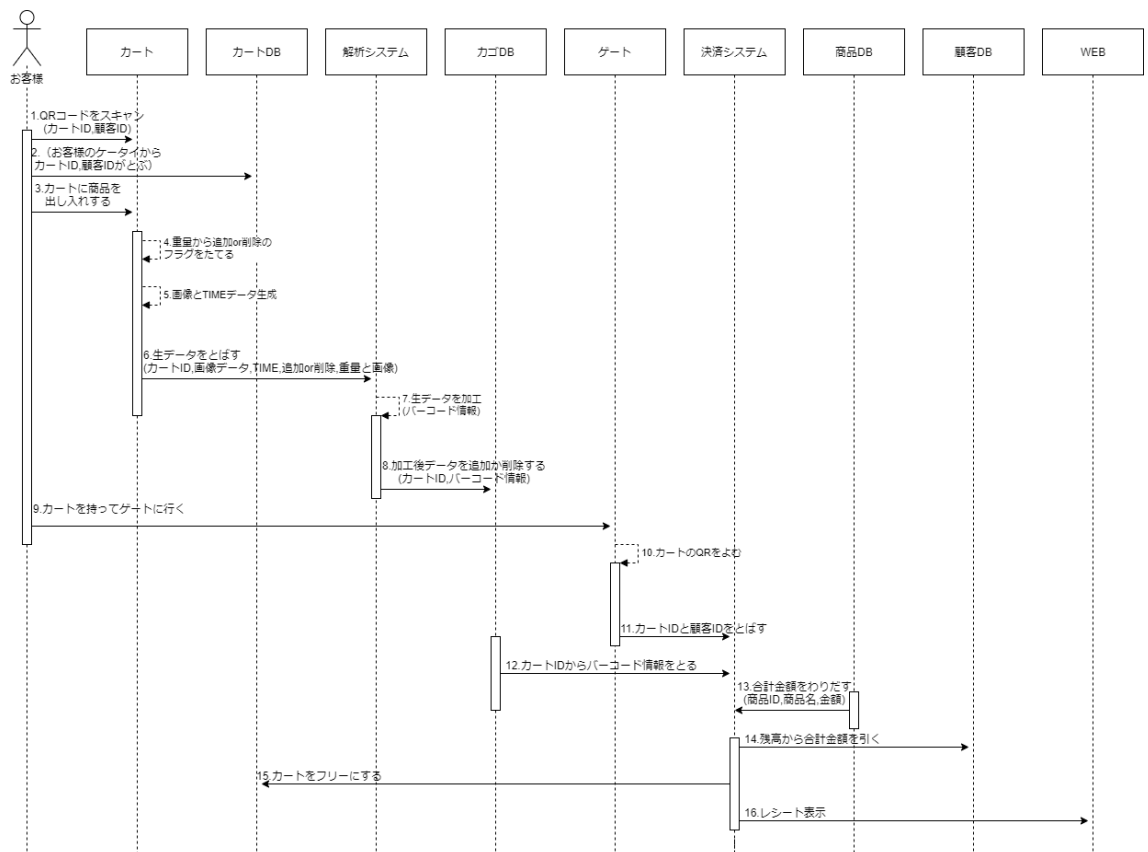


図 3.10. QRコードを用いたシステムのシーケンス図

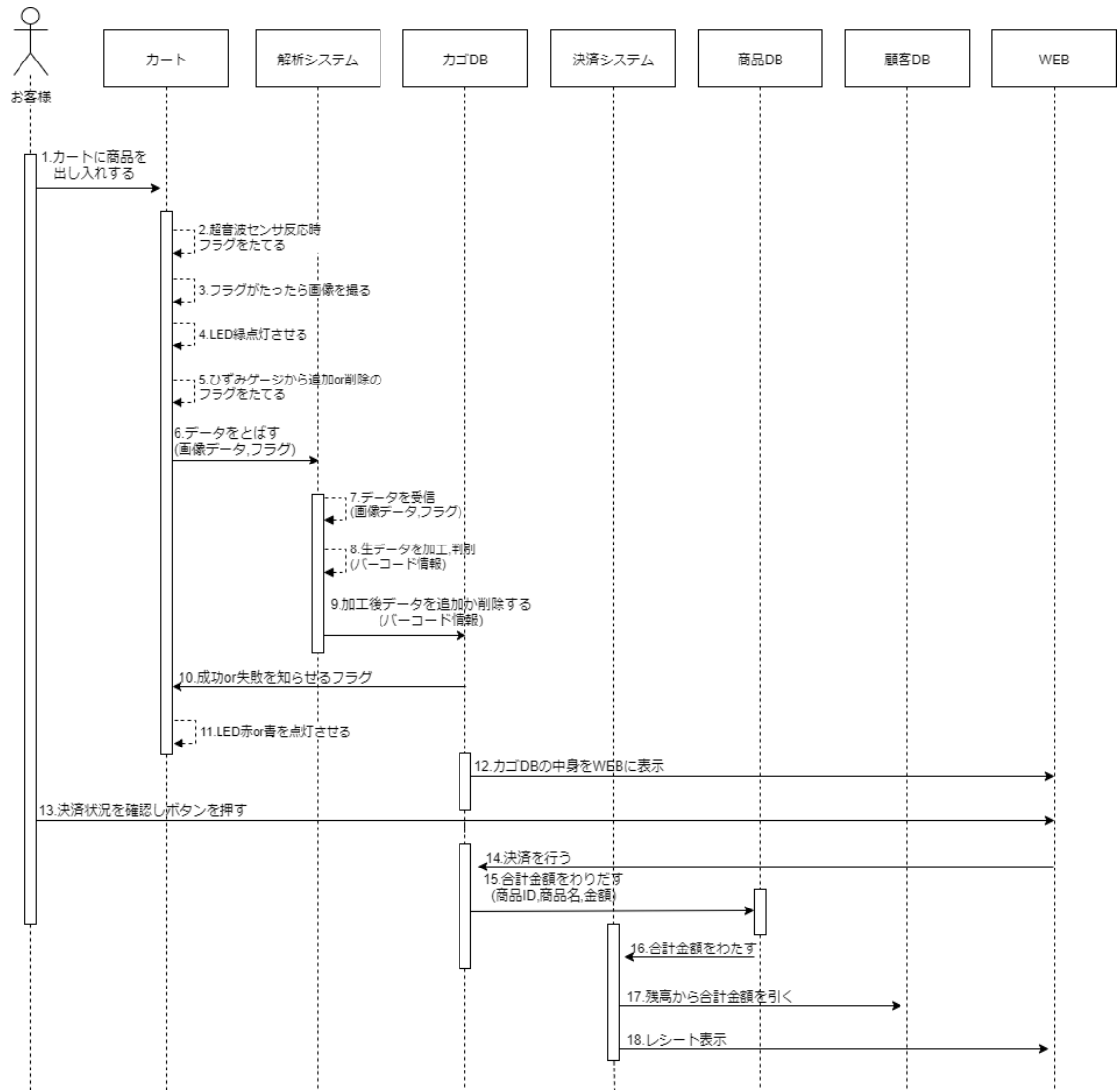


図 3.11. 高優先度のシステムのシーケンス図

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とした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．サーバ側を段原丞治が，Raspberry Pi と各種センサについてを筆者が実装した．Raspberry Pi が制御した各種センサの実装環境について表 4.1 に示す．

表 4.1. 実装環境

実装環境	センサ	開発言語
Raspberry Pi 3 Model B	ロジクール ウェブカメラ C615	python
Raspberry Pi 3 Model B	HY-SRF05 超音波距離センサモジュール	python
Raspberry Pi 3 Model B	ロードセル シングルポイント (ビーム型)3kg	python
Raspberry Pi 3 Model B	SODIAL(R) 100 5mm	python

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 4.1 に述べた各種センサの選定については 3.2 節に述べた．ショッピングバスケットのサイズは 33L，寸法は $W510 \times D360 \times H240\text{mm}$ である．

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．

第 5 章

評価・考察

5.1 評価

5.2 考察

第 6 章

あとがき

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，審査頂いた本学岡野大准教授ならびに宇戸寿幸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