

UAPS における農産物無人販売所システムの開発 Development of Unmanned Agricultural Product Sales Shop System for UAPS

徳増 匠[†]
Takumi Tokumasu

大谷 真[†]
Makoto Oya

1. はじめに

全国に多数の農産物無人販売所が存在する。その殆どは陳列台に商品を陳列し簡易な代金箱を設置しただけのものである。しかし、釣銭が出ない、レシートが発行されない、商品・売上げ管理を人手で行わねばならないなど多くの問題がある。これを解決するために、販売所システムとサーバシステムを組み合わせた農産物無人販売システム(UAPS; Unmanned Agricultural Product Sales system)の研究開発を行っている。今回、その主要部である農産物販売所システムについて、ハードウェアおよびソフトウェアの設計方式および処理方式を提案し、評価実装の開発に成功した。具体的には、紙幣及び硬貨の入出金装置を制御するためのインターフェースボードを新規開発し、さらにレシート発行や後払い機能を実現しサーバとの通信を行うためのソフトウェアを開発し、提案方式の妥当性とシステムの実用性を検証した。

2. 農産物無人販売システム(UAPS)

2.1 UAPS の目的

野菜などの農産物の流通形態が変化する中で、農家が自分の農作物を自ら設営した無人直売所で販売する形態が全国的に普及している[1]。無人の農産物販売は自動販売機型とオープン陳列型に大別される。自動販売機型の典型は農産物を入れる箱等の集合体からなる自動販売機である。自動販売機型は商品窃盗のおそれがないとの利点を持つが、機材が高価であり果物など比較的高価な農産物の販売はともかく、単価の低い野菜などを1個ずつ販売するには適さない。オープン陳列型は農家の軒先や道に面した畑などに机や緑台を置き、その上に商品を並べ、購買者は自由に商品を取り代金を備え付けの代金箱に入れる形態である。商品窃盗や代金間違いの恐れはあるものの、設置費用が低くまた購買者が手にとって商品確認できる利点があり、一般の安価な野菜の販売で広く利用されている。本研究はオープン陳列型を対象としている。

2.2 現状の農産物無人販売の問題点

現状のオープン陳列型無人販売には次の問題がある：購買者の立場からは、釣銭が受け取れない、レシートが受けとれない、たまたまお金を持っていないときでも後払いができない。農家の立場からは、売上げや商品ロスの管理、税務のための販売データの保存、あるいは、商品陳列時の価格設定や商品回収時の販売個数管理をすべて人手で行わなければならない。

本研究は、現金入力機能を持つ無人販売所システム、商品陳列作業用モバイルシステム(スマホアプリ)、および商品管理や売上管理を行うサーバシステムから構成される農産物無人販売システム(UAPS; Unmanned Agricultural Product Sales system)を開発することによって、これらの問題点を解決することを目的としている。

2.3 UAPS の目的

UAPS は、農産物無人販売所における、購買者の利便性の向上、商品陳列・回収時の農家作業者の手間の軽減、及び農家自宅での売上管理の自動化を目的としている。具体的には以下の実現を目指している：

- ・購買者の視点で：表示された商品を選び個数を指定し現金を入力できる。釣銭とレシートを受け取れる。必要ならその場で払わず後払いもできる。
- ・農家(作業者)の視点で：毎日の商品陳列時と商品回収時の陳列商品管理が、現場でモバイル端末から行える。
- ・農家(自宅)の視点で：販売管理、売上や商品ロスの管理が Web でできる。

なお、支払い手段は現金(貨幣や紙幣)とする。農産物無人販売では不特定の人が計画なく立ち寄って購買する形態が多く現金取引が基本であることを考慮したためである。デジタルマネーや会員制クレジットカード販売も考えられるが、従来の技術の延長で本システムに容易に付け加えることができると考えられるため、本研究からは除外した。

上記の他に、個人の農家が導入することを考慮し、全体でできる限り安価に設計することも UAPS の必要要件の一つである。

2.4 UAPS のシステム構成

図 1 に UAPS 全体のシステム構成を示す。UAPS は、購買者が商品を購入する為の販売所システム、農家(作業者)が商品陳列・回収を行う為のスマートフォンアプリ、データを保存しシステム全体を管理するサーバシステム、農家が自宅販売管理する為の Web 端末の 4 つで構成される。

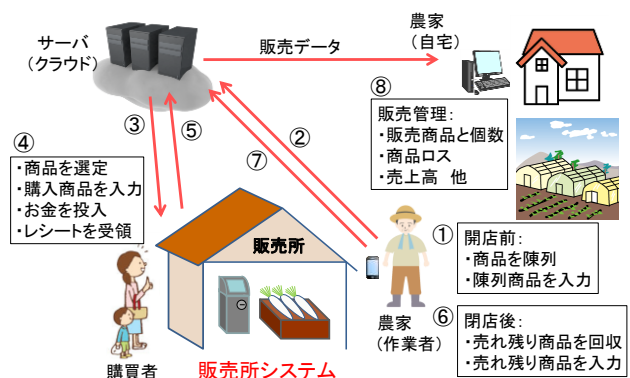


図 1 UAPS の構成

[†] 湘南工科大学工学研究科, Graduate School of Engineering, Shonan Institute of Technology

UAPS での毎日の仕事の流れは以下のとおりである。①農家(作業者)は毎日の開店時に商品を店舗に陳列し、陳列した商品のデータ(商品名、価格、個数)をスマホアプリを使って入力する。②陳列データはサーバに送られ保存され、③開店後に販売所システムに送られる。④購買者は商品を選択しその名前と個数を販売所システムに入力し、現金を投入し釣銭とレシートを受け取る。後払い(ツケ)も可能である。⑤売上データは逐次サーバへ送られる。⑥毎日の閉店時には、農家(作業者)は売れ残り商品を回収しその個数などをスマホアプリで入力する。⑦売れ残りデータはサーバへ送られ保存される。⑧農家(自宅)からはブラウザをインターネットを介してサーバに繋ぎ売上状況などの販売管理ができる。

3. UAPS 販売所システム

現在までに、UAPS 販売所システムの評価実装が完成している[2]。サーバ側管理システムとスマホアプリは部分的プロトタイプの実装が完了した段階である。本論文では以降、販売所システムについて、開発方針、仕様設計、内部構成、処理方式、および、実装開発と評価を述べる。

3.1 開発上の課題と解決方針

販売所システムの開発上の主な課題と我々が採用した解決方針は以下のとおりである。

(1)外部仕様の設計

販売所システムは、ディスプレイなどのユーザインタフェース機器、貨幣・紙幣の入出力機器、レシート印刷用サーマルプリンタ、後払いサポートのためのカメラ、および内部的にこれら機器を制御するための CPU ボードから構成させることとした。商品購入は、3.2 に述べるように、通常の自動販売機と同様とし購買者が容易く操作できるように工夫した。

(2)標準部品の活用

個人農家が対象でありシステム価格をできるだけ安く抑える必要がある。このため市販の標準的製品を部品として利用することとした。特に貨幣・紙幣入出力機器は一般の自動販売機の部品とし、また制御用 CPU ボード、ディスプレイ、カメラ、プリンタも市販の安価なものを利用した。

(3)JVMA プロトコルの制御

前述の自動販売機部品では日本自動販売機工業会が定めている特殊プロトコル(JVMA 通信)[3]が使われている。JVMA 通信を CPU ボードから直接行くと、CPU に負荷がかかり過ぎ、かつ CPU ボード内の制御プログラムが複雑になってしまう問題が生じる。これらを解決する為に CPU ボードと貨幣・紙幣入出力機器の間に、JVMA 通信を制御し、かつ CPU ボードからはより高度なインタフェース(ハイレベルコマンドという)でアクセスできるようにする装置(本論文ではインタフェースボードと呼ぶ)を新規に開発することとした。

(4)ハイレベルインタフェースの設計と実装

前述のハイレベルコマンドは、例えば貨幣投入の制御や釣銭の計算と払い出しなどはすべてインタフェースボード内で行い CPU ボードからは入金指令だけを出せば良いようにした。これによって、CPU ボード側から見たとき、JVMA 通信を抽象化し複雑さを隠蔽するようにした。

(5)CPU ボード内の制御プログラムの実装

CPU ボードには汎用的な OS を用い、各種デバイスのアクセスやサーバとの HTTP 通信を高級言語(Java)を使って効率よく実装することとした。

3.2 商品購入手操作の流れ

図 2 に販売所システムの筐体イメージと購買者が商品を購入するときの操作の流れを示す。

購買者はディスプレイを操作して商品を選択した後、支払方法を選択する。現金支払いの場合は、現金を投入後釣り銭とレシートを受け取り取引完了となる。後払い購入の場合は QR コード(ucode を使用。6.3 参照)が印字されたレシートを受け取り、後日来店時にレシート記載の QR コードをカメラに読み込ませ、ディスプレイに表示される金額を現金で清算し取引を完了する。このように、現金販売と後払いの両方をサポートし、また釣銭の払い出しとレシート発行も可能とした。

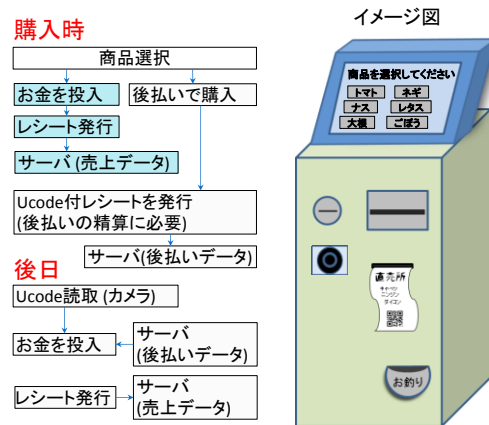


図2 購入手続きの流れ

4. UAPS 販売所システムの開発

4.1 販売所システムの内部構成

図 3 に販売所システムの内部構成を示す。3.1 に述べた方針に沿って、全体を制御する CPU ボードを中心として、紙幣入出力機(B/V、ビルバリデータ)、硬貨入出力装置(C/M コインメカニズム)、インタフェースボード、ユーザインタフェース用ディスプレイ、レシート発行用サーマルプリンタ、QR コード読み取り用カメラで構成される。B/V、C/M は JVMA プロトコルで制御する必要がある。インタフェースボードと CPU ボードの間は汎用的な標準インタフェースである USB を用いた。CPU ボードの OS は Android とし、その上に各デバイスの制御およびサーバと通信を行うソフトウェアを新規開発した。インタフェースボードを含む各種デバイスは Android が提供する application framework を使用してアクセスすることにした。ただしサーマルプリンタだけは現在のところ application framework は提供されていないので JNI を使用し Linux カーネルが管理するデバイスファイルを直接操作してアクセスするようにした。

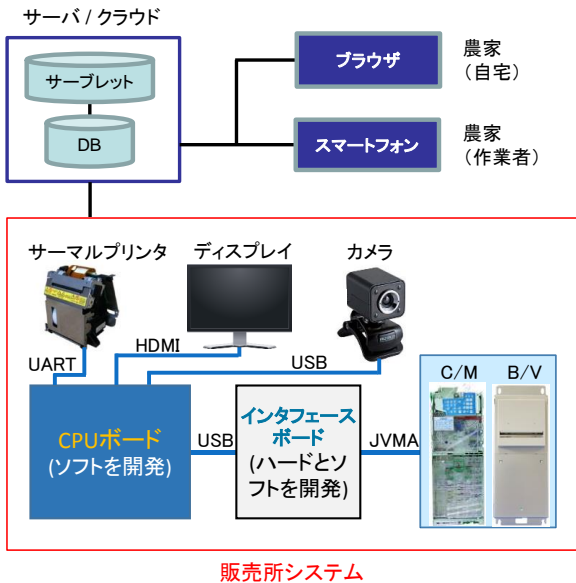


図3 販売所システムの内部構成

4.2 インターフェイスボードの開発

インターフェイスボードは PIC マイコン、トランジスタアレイ、SD カードで構成される。図4に開発したインターフェイスボードの回路図の概要を示す。なお図4に示す6個のトランジスタは、トランジスタアレイを表したものである。

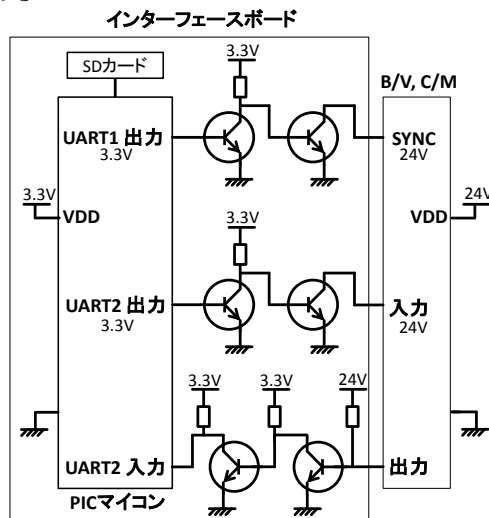


図4 インターフェイスボードの回路概要

JVMA はオープンコレクタ通信を採用しております。B/V と C/M のロジックレベルは、CPU ボード(DC3.3V)とは異なり、DC24V である。これを変換するためにトランジスタアレイを使用しレベルシフトを行った。なおトランジスタアレイは論理を反転させるのでトランジスタアレイの出力を再度別のトランジスタアレイの入力に接続し論理が反転しないようにした。インターフェイスボードがデータを送信する場合マイコンの出力が Hi でトランジスタアレイのベースに印加するとコレクタに接続された B/V, C/M の入力端子はオープンになり論理は Hi となる。マイコンの出力が Low になりベースが印加されないと B/V, C/M の入力端子はコレクタエミッタ間に電流が流れることにより論理は GND レベルの Low となる。

インターフェイスボードが B/V, C/M からデータを受信する場合も同様に行う。

更に JVMA 通信は送受信信号の線以外に同期信号線が必要である。これは 2 つの UART を送信用と同期信号用としてそれぞれ使用し、同期信号と送信コマンドのタイミングをプログラムで調整する方法で解決した。マイコンのプログラムに JVMA コマンドを B/V, C/M へ送信する関数を実装し、その関数は呼ばれると引数に与えられた値を元に送信データを作成した後、同期信号用 UART 送信レジスタを叩き同期信号を送る。その後ハードウェアタイマーを使用し一定時間のインターバルを挟んだ後、送受信データ用 UART の送信レジスタに送信データを書き込みデータを送信する。また同期信号と送信データを送る間は割り込みで処理が取られないようにした。

次に、詳細は次章 5.2.3 で述べるが CPU ボードは釣銭保有枚数を不揮発メモリで保持しなくてはならない。この為にインターフェイスボードに SD カードを搭載した。マイコンと SD カード間は同期シリアル通信の protocols である SPI で接続し、SPI 通信は Microchip 社の提供するフレームワークを使用して実現した。

PIC マイコン内では、CPU ボードからの指令（ハイレベルコマンドという）に基づいて、B/V, C/M を制御し、現金の入出力などを行う。詳しくは次章で述べる。

5. ハイレベルコマンド開発

5.1 ハイレベルコマンド一覧

CPU ボード(ホスト)とインターフェイスボード(デバイスの)通信は、同期通信で行い USB (HID Class) を使用する。ハイレベルコマンドを表1に示す。

表1 ハイレベルコマンド一覧

コマンド名	コマンドコード	送信データ			
		1バイト目	2バイト目	3バイト目	4バイト目
イニシャライズコマンド	A0				
入金開始コマンド	A1	期待金額		タイムアウト時間	
状況確認コマンド	A2				
釣銭保有枚数設定コマンド	A3	10円枚数	50円枚数	100円枚数	500円枚数
リセットコマンド	A4				

コマンド名	1バイト目	2バイト目	3バイト目	4バイト目	5バイト目
入金開始コマンド	ACK/NAK				
状況確認コマンド	ステータス	入金額	10円枚数	50円枚数	
釣銭保有枚数設定コマンド	ACK/NAK				
リセットコマンド	ACK/NAK				

状況確認コマンド	6バイト目	7バイト目
		100円枚数

5.2 インターフェイスボード内でのハイレベルコマンドの実装方式

5.2.1 イニシャライズコマンド

イニシャライズコマンドは B/V, C/M を初期化するコマンドでシステム起動後 B/V, C/M と通信を開始する際、必ず最初に発行する必要がある。

①CPU ボードがイニシャライズコマンドを発行すると、②インターフェイスボードは B/V, C/M へスタンバイコマンドを発行し、B/V, C/M の初期化を完了する。③次にインターフェイスボードは SD カードに保存している釣銭保有枚数を C/M にプリセットする。④インターフェイスボードは CPU ボードへ C/M にプリセットした釣銭保有枚数を送る。

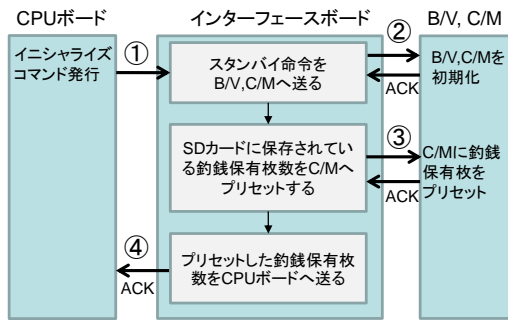


図 5 イニシャライズコマンド

5.2.2 入金開始コマンドと状況確認コマンド

購買者が商品選択を行い購入金額が決定されると、CPU ボードはインターフェースボードに対して、期待される入金金額を指定して、入金開始コマンドを発行する。インターフェースボードは B/V と C/M を制御して、指定された金額に達するまで現金を入力し、その後、釣銭を計算し C/M を制御して釣銭を出力する。取引が完了するとその旨 CPU ボードに連絡する。状況確認コマンドはその時点までに入力された金額を逐次 CPU ボード側で受け取るためのコマンドである。CPU ボードはこれを用いてディスプレイ上に投入済み金額を逐次表示する

2つのコマンドの処理の流れは図6のとおりである。

- ①インターフェースボードは、CPU ボードから期待金額を指定した入金開始コマンドを受信すると B/V, C/M へ入金受付開始命令を送る。以降 CPU ボードは、取引完了まで定期的に状況確認コマンドを発行し入金額を取得する。
- ②インターフェースボードは入金額要求命令を B/V, C/M へポーリングし、入金額を取得する。
- ③期待金額以上入金されたらポーリングを終了し B/V, C/M へ入金禁止命令を送る。
- ④釣銭払い出しの必要がある場合は、釣銭の計算を行う。
- ⑤B/V, C/M へ釣銭払い出し命令を送る。
- ⑥ステータス要求命令を B/V, C/M へポーリングし、釣銭払い出し完了ステータスが返ったらポーリングを終了して CPU ボードへ取引完了ステータスを送信する。

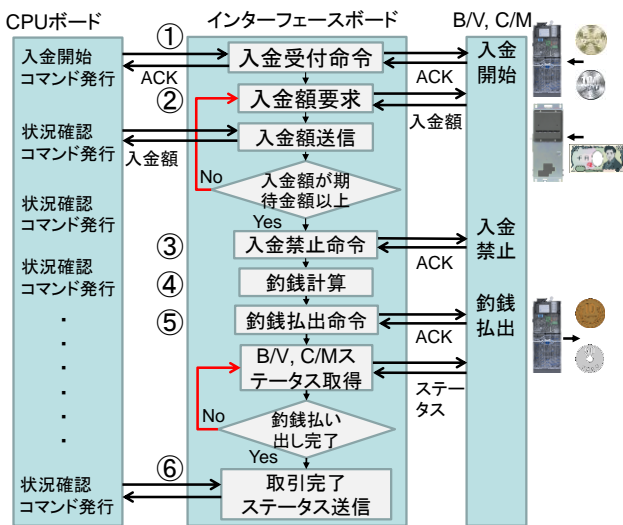


図 6 入金開始コマンドと状況確認コマンド

5.2.3 釣銭保有枚数設定コマンド

釣銭保有枚数設定コマンドは釣銭の補充を行った際に必ず発行する必要がある。C/M は揮発性メモリで釣銭枚数を保持している為電源が落ちるとデータが消えてしまうのでインターフェースボードで SD カードにバックアップを取るようにした。また、C/M は硬貨投入からの硬貨の投入、釣銭保持チューブからの硬貨払い出し時のみ釣銭保有枚数を自動で更新する。そのため釣銭保持チューブへ直接硬貨を補充した際には、インターフェースボードから補充した枚数を連絡する必要がある。このために、このコマンドを準備した。

図7に示す釣銭保有枚数設定コマンドの処理の流れを示す。①CPU ボードは硬貨補充後の釣銭保有枚数を指定した釣銭保有枚数設定コマンドを発行する。②インターフェースボードは、釣銭保有枚数設定コマンドに指定されている釣銭保有枚数を C/M へプリセットする。③プリセット完了後 CPU ボードへ ACK を返す。

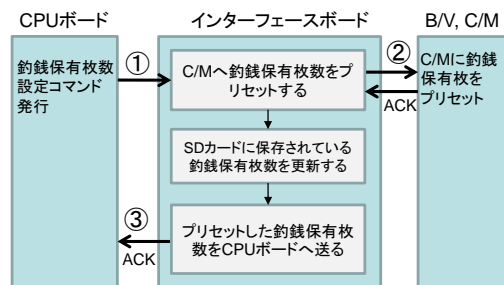


図 7 釣銭保有枚数設定コマンド

6. CPU ボード内のソフトウェアの開発

6.1 処理の概要

CPU ボードのアプリは購買者が操作するディスプレイを表示し I/F ボードと通信して B/V, C/M を制御する。サーバへ売上データの送信、レシートの発行を行う。またカメラで QR コードを読み取り後払いの精算も行う。

図8に CPU ボード内のソフトウェアの処理概要を示す。販売所システム起動後アプリが起動するとイニシャライズコマンドを発行して B/V, CM を初期化する。B/V, C/M の初期化が完了すると管理サーバへ陳列商品一覧要求を HTTP/POST 送信し当日の陳列商品一覧を取得する。これらの処理が完了すると取引選択画面が表示され、開店できる状態となる。購買者が現金で商品を購入する場合は、合計金額を期待金額とし入金開始コマンドを I/F ボードへ送る。状況確認コマンドを発行し取引完了ステータスを取得したら管理サーバへ売上データを POST 送信し、その後レシートを印刷する。後払いでの購入の場合は入金開始処理を行わず即座に後払売上げデータを POST 送信し、QR コード付きレシートの印刷を行う。後払いを精算するときは、後払い精算の画面を表示した後、レシートに印刷されている QR コードをカメラで読み込む。カメラから取得したデータを管理サーバに POST 送信し、データに紐づいている後払売上げデータ (6.3 参照) を取得する。管理サーバから取得した後払売上げデータの金額を期待金額とし現金購入の際と同じく入金処理を行う。入金が完了すると管理サーバへ精算完了データを POST 送信し、後払売上げデータを精算済して精算済レシートを印刷する。

と Android 端末の両方をサポートした。サーバは無料で使用できるクラウドプラットフォームである Google App Engine を用いてテストに必要な最小限の機能だけを開発した。



図 11 完成した販売所システムの評価実装

評価実装を用いて実際に商品購入、現金入力、釣銭出力、レシート出力、後払いのテストを行い、正しく動作することを検証した。

開発した評価実装は TRONSHOW2014[6]にも出展した。

7.2 評価

実装開発をとおして以下のことが分かった。

- 4.1 で提案した販売所システム内部構成が適切であること。
- 4.2 で提案したインタフェースボードの設計が妥当であること。特殊な JVMA プロトコルを CPU ボードから隠蔽できたとともに、釣銭の計算と払い出しなどを CPU ボードのプログラムの負荷なしで実行できるようになったこと。
- 5.1 で提案したハイレベルコマンドの仕様が適切であること。またその実装方式も妥当であること。
- 6 に提案した CPU ボード内のソフトウェアの処理内容と方式が妥当であること。HTTP と JSON を用いた管理サーバ通信方式と ucode を用いた売上データ管理の妥当性も検証できた。

以上により、3.1 に述べた 5 つの開発上の課題、外部仕様の設計、標準部品の利用、JVMA プロトコルの制御、ハイレベルインタフェースの設計と実装、および、CPU ボード内制御プログラムの実装が解決できた。また、サーバ管理ソフトとスマホアプリの部分プロトタイプを組合わせて評価することにより、目標としている UPAS (農産物無人販売システム) 実現の基本方式が確立できた。

8. 今後の課題

(1) 販売所システムに関する課題

まず販売所システムのユーザーインタフェースを改良しユーザビリティを向上させる必要がある。さらに販売所システム動作中に釣銭、レシート紙の残りが一定以下になるとスマホへ通知する機能や、販売所システムの操作方法が理解できない顧客が音声で遠隔地の農家からサポートを受ける事が出来る Help 機能、販売所システムとサーバ間で通信エラーが発生する事に備え、一定期間の取引ログを販売所システムに保存する機能の追加が課題である。またクレジットカード決済や Suica, Edy 等の電

子マネーへの対応も検討する必要がある。これらとともに、農家現地での適用実験も行う必要がある。

(2) UAPS に関する課題

UAPS 全体としての課題はサーバアプリを完成させることが挙げられる。UAPS のサーバアプリでは売上を管理するが、一般的な POS システムとは異なり、必ずしもシステムが算出した売上と実際の売上が一致するわけではないとの特徴がある。どの様に売上を管理するのか検討してから設計する必要がある。また管理サーバを CPU ボード内に実装し外部にサーバを置かない様にも考えられる。現状のシステムでは顧客の識別・管理は行っていないが会員登録機能を実装して顧客を管理し顧客毎に適したサービスを提供することも検討する。これらの課題を解決した後 UAPS の適応実験・評価を行う。

(3) 複数の UAPS が連携するシステムに関する課題

各農家の無人販売が UAPS によって IT システム化できれば、次の段階として複数の農家が連携して無人販売をすることが可能になる。すなわち、複数の農家の農産物を 1 つの無人販売所で扱うことや後払いなどを農家間を超えて可能にすることなどである。後払いに ucode を適用しているがこれを拡張してユビキタス技術を使って複数の農家の連携が実現できるものと思われる。また一般に、農家はそれぞれ独立の考え方をもって無人販売を行うのが普通で、複数の農家が話し合って 1 つの取引モデルを共有することはまれである。この点から実行時にビジネスプロセスモデルを協調させることを特徴としている AWS[7]の成果を適用することも考えられる。

謝辞

B/V および C/M について富士電機株式会社の森山氏他からアドバイスをいただいた。

参考文献

- [1] 目黒義和, 「都市・農山漁村交流における地域物産販売」, Best Value, vol. 17, 2008 年
- [2] 徳増匠, 中川優, 大谷真, 「農産物無人販売システムの開発」, 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, 1J-8, pp. 1-67-68, 2014 年
- [3] 木村文彦, 「自販機技術総覧」, 自動販売機工業会, 1998 年
- [4] 新堂克徳, 越塚登, 坂村健, 「ucR を利用した空間情報基盤」, T-Engine フォーラム, http://www.t-engine.org/ja/wp-content/themes/wp_vicuna/pdf/ja/TEF071-W002-110222_2.pdf
- [5] ユビキタス ID センター <http://www.uidcenter.org/ja/>
- [6] Tronshow2014, <http://www.tronshow.org/>
- [7] 大谷真, 「自律型 Web サービス: 原理と実装」, 情報処理学会論文誌, vol. 54, No. 2, pp. 982-991, 2013 年