

修士論文 2011 年度 (平成 23 年度)

重量センサを利用した消耗品の使用量予測 システム

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
山口 修平

修士論文 2011 年度 (平成 23 年度)
重量センサを利用した消耗品の使用量予測システム

論文要旨

ビジネスにおける流通の在庫の問題は SCM(Supply Chain Management: 流通管理) や RFID タグの貼付による個品管理の自動化により解消されつつある。一方でオフィスや家庭内の消耗品の在庫管理は、特定の管理者による経験則に基づいて行われている。そのため、欠品や過剰在庫といった問題が生じている。特に、オフィスにおけるプリンタ用紙使用量などは、時期によって使用量が大幅に変動するため、過去データを自動的に分析して使用量（欠品時期）を予測することが有効だが一般的に利用されることはない。本研究では、上記の問題を解決するために、オフィスや家庭の消耗品の消費量を、予備品（ストック）の重量をロードセルを用いた在庫量測定装置によって常時観測し、ネットワークを用いて情報システムに蓄積・分析することにより、使用量の統計モデルを自動的に確立し、その統計モデルに基づいて、欠品時期を自動的に予測するシステムを設計・開発した。重量を測定するロードセルは予備品の種類に応じて取り替える必要があるが、センサー制御、データ収集、統計モデル解析、欠品時期予測アルゴリズムは、汎用的に用いることができる。消費量の季節変動による統計モデルの切り替えを自動的に行うために、周期の異なる最尤推定方法を組み合わせる方法を考案した。提案方法は、プリンタの約 3 年間の実測使用データに基づくシミュレーションによってその妥当性を確認し、消費のステートの切り替え点が自動的に検出できることおよび、それに基づいて発注タイミングや発注量を調整することにより、今回用いたケースでは在庫量を 12.1% 削減できることを示した。在庫量測定装置で用いるロードセルに関しては、市販の体重計に改良を加えて構成した。データ収集情報システムは消耗品の種類によって異なるデータ収集周期を指定したり、データの送付先を指定できる機能を具備している。開発したシステムは研究室内でプリンタ用紙ストックおよび冷蔵庫内飲料の重量を継続的に測定し、集計した使用量データに後処理を施すことによって、平均値の誤差 9 %, 確率分布の誤差 7.15 %という結果が得られ、使用量を直接測定することと同等の精度で、統計モデルを確立し、欠品時期予測が正確に行えることを示した。

キーワード

1. 最尤推定法 2. ステート・スイッチング 3. ガンマ分布 4. 重量センシング

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
山口 修平

Abstract of Master's Thesis Academic Year 2011
Consumption Prediction System of Consumables with Weight Sensor

Abstract

The problem of distribution stock in business has been significantly improved by Supply Chain Management utilizing the automatic identification technology such as barcode and RFID. However, the stock management of supplies and consumables in office and home is usually managed by specific supervisor with rule of thumb. Because of that, the shortage of stock and excess inventory is common place. Particularly the consumption of office supplies such as copier papers in university heavily depends on seasons. It is desirable to predict the consumption based on the consumption history. But such practice is hardly executed. This study proposes an automated consumption statistics establishment system using weight sensor. The stock of consumables is continuously measured by weight sensor whose loadcell is chosen to fit the consumable. The sensor data is collected by a database and analyzed to produce a statistical model of the stock consumption. This study also proposes a most likely neighborhood estimation (MLE) method to switch statistical model to adapt the seasonal fluctuations. The method is evaluated with an actual paper consumption history data to show the optimal state switch between a statistical model and another can reduce the stock amount by 12.1% while we don't experience out of stock in our case. Even though we need to have several load cells to fit consumables the information system and the statistics model estimation work for various consumables. The developed system has been working in a university office for three month monitoring copier paper stock and water in a refrigerator. Even though we scarcely observe the stock change of copier paper in the office, the proposed system can establish a statistical model with 9% error in the average usage and 7.15% error in the usage distribution. The accuracy is equivalent to the statistical model established with consumption data directly measured from copier machine. we need to have several load cells to fit consumables the information system and the statistics model estimation work for various consumables. The developed system has been working in a university office for three month monitoring copier paper stock and water in a refrigerator. Even though we scarcely observe the stock change of copier paper in the office, the proposed system can establish a statistical model with 9% error in the average usage and 7.15% error in the usage distribution. The accuracy is equivalent to the statistical model established with consumption data directly measured from copier machine.

Key Words

1.Maximum Likelihood Estimation 2.State Switching 3.Gamma Distribution
4.Weight Sensing

Graduate School of Media and Governance
Keio University
Shuhei Yamaguchi

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	1
1.1.1	オフィスや家庭内の消耗品在庫管理	1
1.1.2	Internet of Things	1
1.1.3	ネット通販の普及	2
1.2	本研究の目的	2
1.3	用語の定義	3
1.3.1	ZigBee	3
1.3.2	EPC(Electronic Product Code)	4
1.3.3	EPCglobal ネットワーク	4
1.3.4	Internet of Things	5
1.3.5	最尤推定法	5
1.4	本論文の構成	5
第 2 章	前提技術	6
2.1	RACOW プロジェクト	6
2.1.1	概要	6
2.1.2	モノの ID をベースとした情報システム	6
	EPC ネットワークの拡張	6
	EPC を利用したノードアクセス	6
2.1.3	柔軟な配置を可能とする宅内ネットワーク	7
	宅内ネットワークとしての ZigBee の利用	7
	COAP による末端までのウェブサービス化	7
2.1.4	本章のまとめ	7
第 3 章	問題定義とシステム要件	9
3.1	既存研究の調査	9

3.1.1	センサログを用いた e コマースのための購買支援システム	9
3.1.2	マルコフ・スイッチング・モデル	9
3.1.3	自販機管理システム	10
3.1.4	プリンタ情報取得サービス	10
3.2	問題定義とシステム要件	11
3.2.1	システム要件	12
3.2.2	消耗品使用量予測システム	12
3.2.3	消耗品在庫量計測装置	13
3.2.4	システムを実現する上での課題	13
第 4 章	季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムの提案	14
4.1	季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムのアプローチ	14
4.1.1	消耗品使用量分布の選定	14
4.1.2	ステート切り替え時期特定	16
4.2	消耗品使用量予測システムの設計	17
4.2.1	システムフロー	17
4.2.2	モジュール機能	18
	発注点	18
	発注点の特定方法	18
	リードタイム	19
	ステートスイッチング	19
	アラート	19
4.3	消耗品使用量予測システムの実装	19
4.4	季節変動に対応した在庫調整アルゴリズムのシミュレーションによる性能評価	20
4.4.1	評価項目	20
4.4.2	評価環境	20
4.4.3	評価方法	20
	ステート切り替えによる在庫量削減効果の評価	22
4.4.4	評価結果	22
4.4.5	本章のまとめ	23
第 5 章	消耗品の在庫量取得装置の提案	26
5.1	消耗品の在庫量取得装置へのアプローチ	26
5.2	消耗品の在庫量取得装置の設計	26

5.2.1	システム設計	26
5.3	消耗品の在庫量取得装置の実装	26
5.3.1	センサボード	27
5.3.2	MSP430	28
5.3.3	Panasonic 体重計	28
5.3.4	TANITA 重量スケール	29
5.3.5	ZigBee	30
5.4	消耗品の在庫量取得装置の性能評価	30
5.4.1	評価項目	31
5.4.2	評価環境	32
5.4.3	評価結果	32
	研究室用プリンタ用紙在庫量	33
	研究室冷蔵庫内の飲料水	34
5.4.4	本章のまとめ	35
第 6 章	重量センシングと実測値の比較による本システムの評価	38
6.1	評価項目	38
6.2	評価環境	38
6.3	評価方法	38
6.3.1	研究室プリンタ	39
	平均値	39
	確率分布	39
6.4	評価結果	39
6.4.1	平均値	39
6.4.2	確率分布	40
6.5	考察	41
第 7 章	結論	42
	謝辞	44
	参考文献	45

図目次

1.1	オフィス用品一例	3
1.2	飲料一例	3
1.3	食料品一例	4
2.1	RACOW 情報システム全体図	8
3.1	自販機管理システム図	10
3.2	CentreWare Internet Service ブラウザ表示例	11
3.3	システム要件	13
4.1	メディアセンタプリンタ用紙使用量の確率分布	15
4.2	消耗品使用量予測システム実装図	20
4.3	メディアセンタプリンタ A のステート切り替え点推測結果	21
4.4	メディアセンタプリンタ B のステート切り替え点推測結果	22
4.5	研究室プリンタのステート切り替え点	23
4.6	ステート切り替えを行わない場合の在庫量の変遷	24
4.7	最尤推定によるステート切り替えを行う場合の在庫量の変遷	24
4.8	累積在庫量削減結果	25
5.1	消耗品の在庫量取得装置システム図	27
5.2	センサボード画像	28
5.3	センサボード構成図	28
5.4	MSP430 スペック	28
5.5	体組成バランス計	29
5.6	体組成バランス計実装状況	30
5.7	デジタルクッキングスケール	31
5.8	デジタルクッキングスケール実装状況	31
5.9	Zigbee Coordinator	32

5.10	在庫量取得装置を用いたプリンタ用紙在庫量取得の様子	33
5.11	在庫量取得装置を用いた冷蔵庫内飲料残量取得の様子	34
5.12	在庫量取得装置によるプリンタ用紙重量センシング結果	36
5.13	在庫量取得装置による冷蔵庫内飲料重量センシング結果	37
6.1	重量センシング及び SNMP の平均値比較	40
6.2	重量センシング及び SNMP の累積密度分布	41

表目次

4.1	メディアセンタプリンタ用紙の使用量分布	15
4.2	消耗品使用量予測システムフロー	17
4.3	安全係数による不足の確率	18
4.4	消耗品使用量予測システム実装環境	19
5.1	消耗品在庫量取得装置に用いた機器一覧	27
5.2	開発プラットフォーム	27
5.3	Panasonic 体重計詳細	29
5.4	TANITA 重量スケール詳細	30
5.5	ZigBee スペック	32
5.6	研究室内プリンタ用紙重量のアンプによる増幅結果	35
5.7	研究室内プリンタ用紙重量のアンプによる増幅結果平均値	35
5.8	冷蔵庫内飲料重量のアンプによる増幅結果平均値	36

第 1 章

序論

1.1 背景

本節では, 本研究の背景について述べる.

1.1.1 オフィスや家庭内の消耗品在庫管理

ビジネスにおける流通の在庫の問題は SCM(Supply Chain Management:流通管理) や RFID タグの貼付による個品管理の自動化により解消されつつある. 一方でオフィスや家庭内の消耗品の在庫管理は, 家電製品や食物等の種類の多様化が進むにつれ消耗品の数や種類が増えているにも関わらず, ほとんどなされていない. されていたとしても, ある特定の機器の特定の消耗品に対してのみ管理するシステムであるなど, 汎用性の少ないものが多い. またオフィスや家庭において, 多くの場合で, 消耗品の発注権限は特定の人物によって経験則に基づいて発注量, 発注時期の決定が行われているため, 人為的なミスによる発注忘れや発注量の予測を誤る事による欠品, 過剰在庫といった問題が発生している. この問題を解決するためのオフィス向けの在庫管理パッケージも市販されているが, 多くのパッケージにおいて過去のデータを元にした需要を予測する手法を取っているため, リアルタイムなデータの予測を行うことが難しく完璧な需要予測を行うことは現状ではできていない. 以上を考慮するとこのような家庭やオフィスにおいて, 消耗品の在庫管理を可能にするためにはビジネスで利用されるような大掛かりな在庫管理システムではなく, 多種多様な消耗品に汎用的に適用できる簡単な仕組みであるといえる.

1.1.2 Internet of Things

近年センサデバイスの低価格化, 小型化により多くのセンサから無線通信を用いてデータを取得し, データ解析を行い, 状況に応じてサービスを提供するセンサネットワー

クが実現されつつある。例えば、慶應義塾大学 Auto-ID Lab. では RACOW(RFID Auto-Commissioning Open system with WiMAX) プロジェクトを通じて、主に居住空間を対象とした家電機器制御に関する研究が行われ、実証実験が藤沢市のボランティアハウス及び一部家庭で行われた。この実験環境では、ネットワークを通じて制御が可能な家電機器等を設置し、アプリケーションを用いてそれらの家電機器を制御している。ユーザはアプリケーションを利用することで実験空間内の家電機器を制御することが可能である。実験空間内では、冷蔵庫、エアコン、照明、テレビ等が実際に制御可能である。このような仕組みは広義な意味で Internet of Things と呼ばれている。こうしたセンサネットワークを介したデバイス間通信が可能になるつれ、家電機器やその他の機器から情報を集約し利活用するのが当たり前になりつつある。

1.1.3 ネット通販の普及

現在、Amazon や楽天、ASKUL などのネット通販が普及し、オフィス用品 1.1 や日用品、家電製品に到るまで様々なモノをネット上で購入し、オフィスや宅内へ配送を行うことが可能になっている。さらには、食品 1.3 や飲料 1.2 などといったモノまでネットスーパーの普及によってオフィスや自宅にしながらショッピングができるなど多くのモノをネット上で購入することが可能になっている。配送網もまた充実してきており、購入から手元に届くまでの時間も短くなりつつある。このようなネット通販が普及するにつれ、定期購入で商品を購入するという選択を行う人も増えてくる。しかし、定期購入の場合、欲しいモノを欲しい時期に購入するスタイルと比較して、定期的に発注されるモノの量と実際に使用しているモノの量が異なるという問題が生じ、需要と供給にミスマッチが生じてしまう。このような、需要と供給のミスマッチをなくすことでより多くの人がネット通販を効率的に利用することができるといえる。

1.2 本研究の目的

本研究ではオフィス及び家庭内の消耗品の在庫量をリアルタイムに把握し、欠品や過剰在庫のないように消耗品の発注を行うことで、自動的に消耗品の在庫量を調整するシステムを提供することを目的とする。本研究の目的は、以下の2つに細分化される。

1. 季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムの提案
2. 消耗品の在庫量取得装置の提案



図 1.1 オフィス用品一例



図 1.2 飲料一例

1.3 用語の定義

本論文で用いる用語とその定義を以下に示す.

1.3.1 ZigBee

ZigBee とは, 業界団体である Zigbee Alliance が世界標準仕様を策定した短距離無線通信規格の 1 つである. ZigBee は以下のような特徴を持っている.

- 高信頼性
- 低消費電力



図 1.3 食料品一例

- マルチホップネットワーク
- 国際標準準拠

Zigbee は低消費電力であり, 高信頼性を確保し, マルチホップネットワークが構築が可能である.

1.3.2 EPC(Electronic Product Code)

Electronic Product Code(EPC) は Radio Frequency Identification(RFID) タグ等の手段によりあらゆる物体を識別する識別方式である. 標準化した EPC データは個々の物体を個別に識別する EPC および,EPC タグの読み取りを有効かつ効率化するため必要と判断された場合に使う Filter Value とで構成されている.

1.3.3 EPCglobal ネットワーク

各企業や事業所におけるモノの移動情報を相互に参照(可視化)するためのアーキテクチャである. 電子タグの情報をどのように識別, 取得, 交換するかの3つの要素から構成されている. 以後,EPC ネットワークと呼ぶことにする.

- EPCIS(EPC Information Services) EPCglobal ネットワークの核となる構成要素で, モノの移動に関する情報を取引先間で互いに交換するための仕組みである. また交換を行う箇所において以下の2つが EPCglobal ネットワークにおいて重要な役割を担っている.
- ONS(Object Naming Service) EPC 企業情報から, 関連する EPCIS のアドレス情報を提供する仕組みである.

- ディスカバリ・サービス EPC をキーとして, 関連する情報 (EPCIS) を検索する仕組みである.

1.3.4 Internet of Things

Internet of Things は環境, 建物, 自動車, 衣類, 携帯機器, 身の回りのあらゆる ”モノ” が多くの情報と結びつく, あるいは, そういった ”モノ” センサー, 通信, ネットワーキング機能, さらに新たな情報を生み出す機能を付与する動向を指している.

1.3.5 最尤推定法

最尤推定法 (Maximum likelihood estimation 略して MLE ともいう) は, 統計学において, 与えられたデータからそれが従う確率分布の母数について推測するためによく用いられる方法で, 尤度の概念を利用するものである. この方法はロナルド・フィッシャーが 1912 年から 1922 年にかけて開発したものである.

1.4 本論文の構成

本論文は本章を含め全 7 章より構成される. 本章である第 1 章では, 本研究の背景及び目的について述べた. 第 2 章では, 既存技術である RACOW プロジェクトの概要とシステムの説明を行う. 第 3 章では, 問題定義とシステム要件を述べ, その問題定義を解決する手段として, 本システムの具体的な実現手法を消耗品使用量予測システムと消耗品在庫量計測装置に分けて説明を行う. 第 4 章では, 消耗品使用量予測システム内のアルゴリズムである季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムを提案し, 第 5 章では, 消耗品の在庫量取得装置の提案に関して述べる. 第 6 章では, 実際に装置によって取得したデータに基づいてシミュレーションを行なって評価した結果について述べる. 最後に第 7 章では, 本研究を総括した全体的な結論を述べる.

第 2 章

前提技術

2.1 RACOW プロジェクト

2.1.1 概要

RACOW プロジェクトを通して構築された情報システムは EPC(Electronic Product Code) をベースとした情報取得システムであり, 電子タグからの情報, 家電製品からの情報を統合して扱うセンサーネットワークシステム 2.1 である. 家電製品のライフサイクル情報管理のために家庭内センサーネットワークとサプライチェーンをシームレスに接続することが可能になる. 新規性として, 製品固有の ID を利用している点と家庭での利用を想定していること, また, 自律的なノードの参加・登録が可能なが挙げられる. 以下に RACOW 情報システムの特徴を挙げる.

2.1.2 モノの ID をベースとした情報システム

EPC ネットワークの拡張

RFID と一体化した無線ノードによる情報収集を行い, Internet of Things を実現している.

EPC を利用したノードアクセス

- 下位レイヤのプロトコル, 通信方式に関わらず利用可能
- インターネット標準に準拠したアクセス
- 製品をターゲットとした操作が可能

ID を使ってモノが正確に特定できることを前提とし, Web 技術を使って下位のアクセスネットワークに依存せず, また制御などに用いる詳細プロトコルは End-to-End で解決

する.

2.1.3 柔軟な配置を可能とする宅内ネットワーク

宅内ネットワークとしての ZigBee の利用

- 低消費電力
- マルチホップ
- 自律的な経路制御

RACOW システムで用いられているセンサーノードは,ZigBee ネットワークにおけるルータとして動作し, コーディネータを中心としたメッシュネットワークを構成する. ルータは コーディネータからの電波信号を中継することが出来るため, コーディネータの電波が直接届かない場所にあるセンサーノードでも中継ルータを介せば通信可能となる.

COAP による末端までのウェブサービス化

通信の中継点として存在する Gateway において HTTP/COAP 変換を行い, アプリケーションと宅内機器での整合がとれていれば, 中間機器は同一システムで利用可能である.

2.1.4 本章のまとめ

本章では重量センサを利用した消耗品の使用量予測システムを提案する上での前提となる技術である,RACOW の情報システムに関する説明を述べた. このセンサ情報システムを用いることで消耗品の在庫量を自動的に計量し, 遠隔から残量を確認したり買うべきタイミングをシステムから適切に通知することができる. 次章では問題定義とシステム要件を述べるのだが, その際に本章の RACOW の情報システムを基盤として構築した重量センサを利用した消耗品の使用量予測システムについて説明を行う.

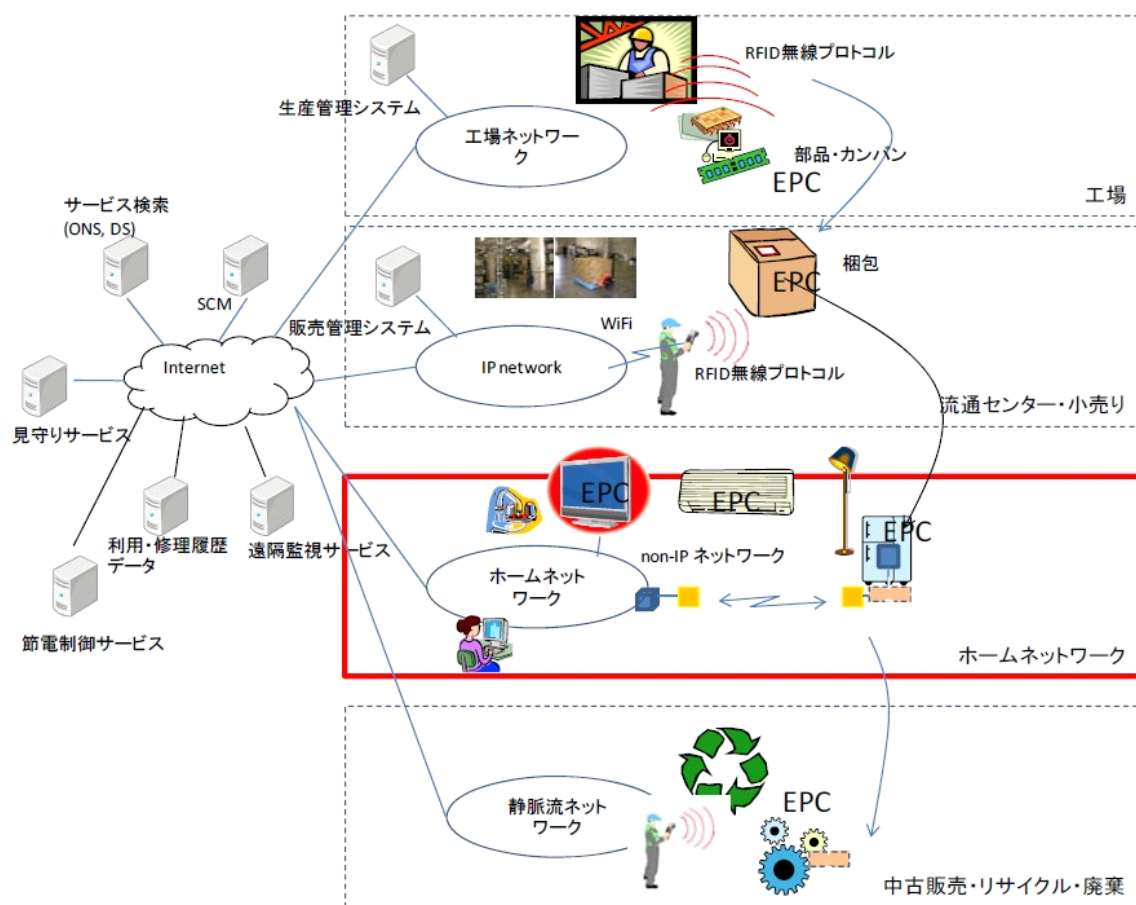


図 2.1 RACOW 情報システム全体図

第 3 章

問題定義とシステム要件

本章では, まず既存研究の調査結果について述べる. 続いて, 問題定義に関して述べ, 様々な消耗品の在庫量を検知し, 欠品や過剰在庫を抱えることなく発注を可能にする仕組みの実現手法を述べる. その後, 実現手法の主要部分である消耗品使用量予測システム及び消耗品在庫量計測装置に関する説明を行う. 最後にそれぞれのシステム, 装置を実現する上での問題点を述べる.

3.1 既存研究の調査

3.1.1 センサログを用いた e コマースのための購買支援システム

消耗品に圧力センサを取り付けセンサログを取得することにより消耗品の残量を検知し, センサログに基づいて需要予測を行い, 過去の消費スパンとの比較を行うことで消耗品消費タイミングの予測を行う. 需要予測で得られた値を元に購買パラメータを決定し注文手続きを行う [7].

3.1.2 マルコフ・スイッチング・モデル

Hamilton によって提案されたモデルで, 主に経済学の方法論として計量経済学の分野で用いられている. この手法 [4] はターゲット変数の動きを説明する単一変数アプローチであり, 2 あるいはそれ以上のレジームにターゲット変数が対応していると考え, 各レジームから別のレジームにマルコフ過程に従ってスイッチする確率を非線形モデルによって求めるものである.

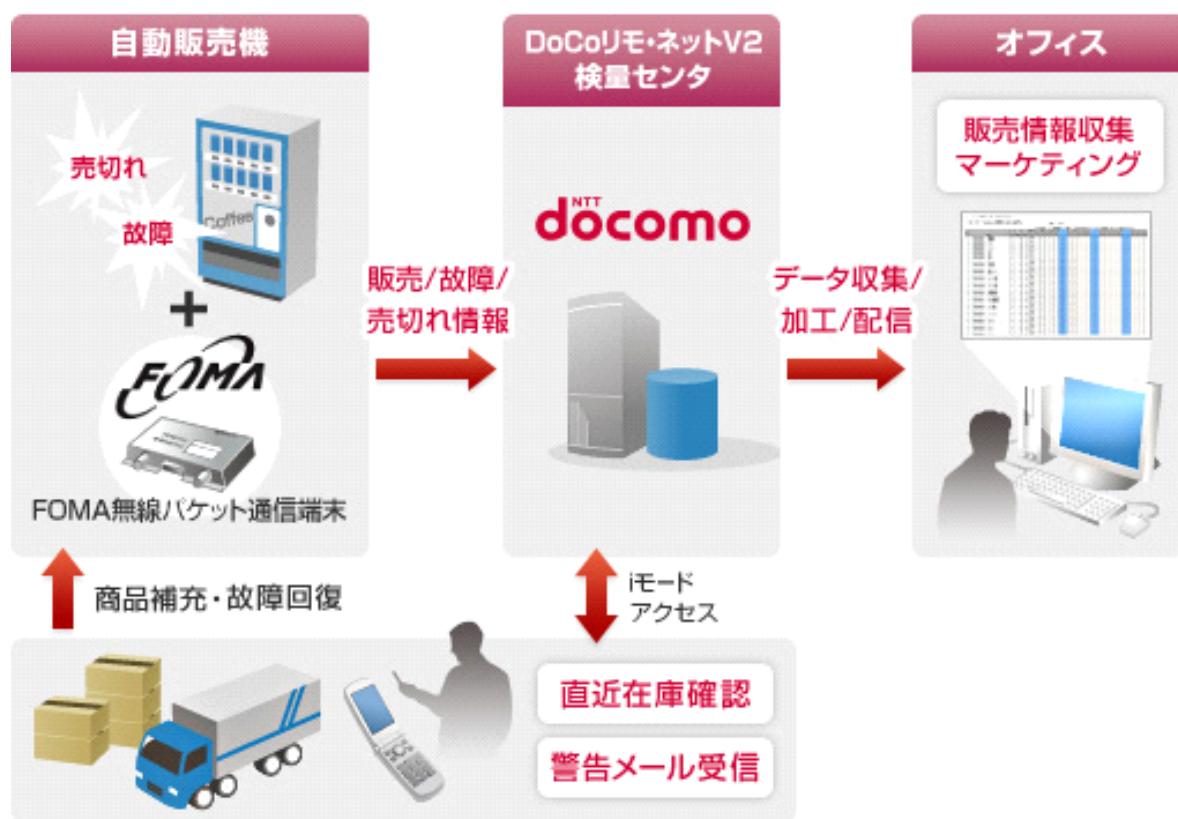


図 3.1 自販機管理システム図

3.1.3 自販機管理システム

自動販売機の販売情報売切れ故障情報などを ASP センタで取得. 携帯電話やパソコンから自販機の状況を, 監視・管理が可能. 製品補充を担うオペレーション担当者に配備した携帯端末で, 遠隔で自販機の在庫情報の確認ができるシステムである [9].

3.1.4 プリンタ情報取得サービス

ネットワーク機能を使用でき, かつ TCP/IP 環境を使用できる場合に, Web ブラウザーを介して本機の状態やジョブの状態を表示したり, 本機の設定を変更したりするためのサービスである. トナーカートリッジの残量表示, 用紙の残量表示なども確認することができる [17].

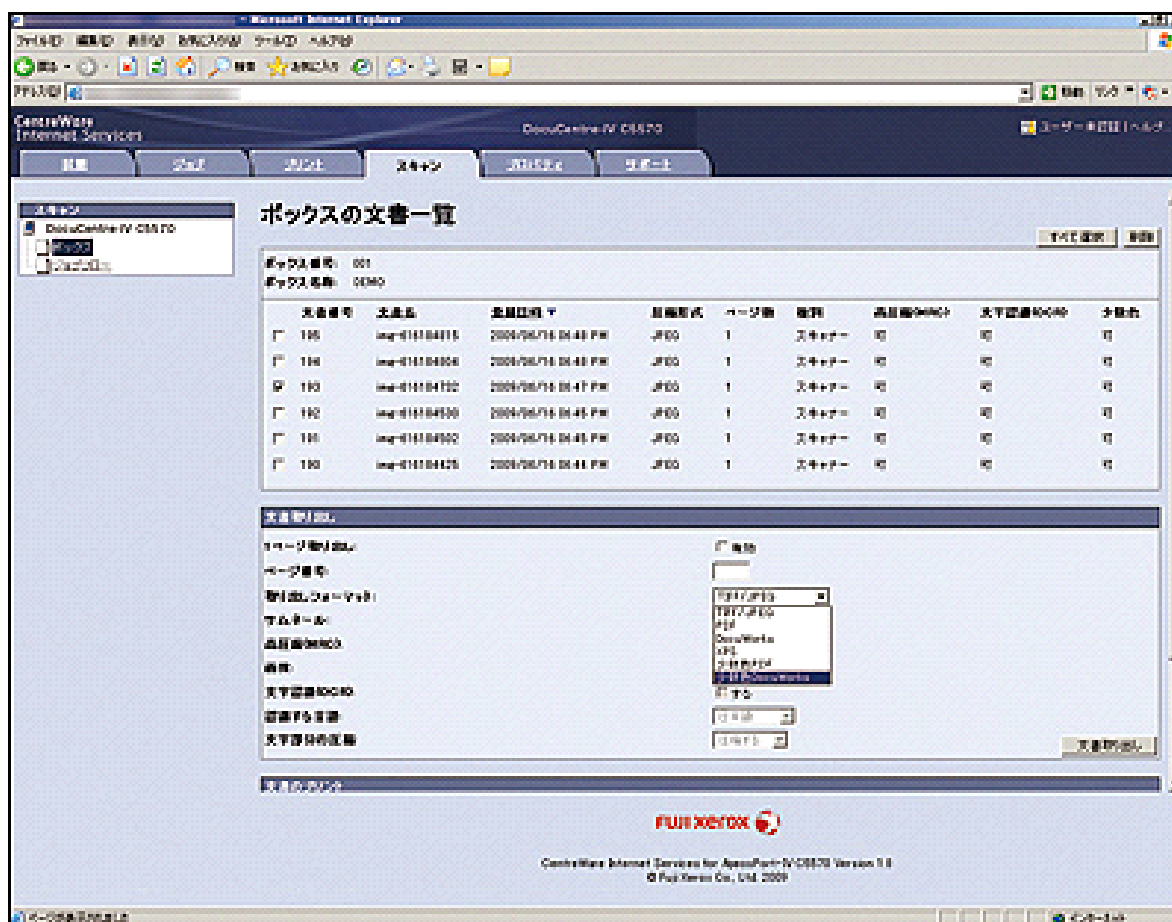


図 3.2 CentreWare Internet Service ブラウザ表示例

3.2 問題定義とシステム要件

[7]において消耗品の残量を検知する際に圧力センサを用いて、残量の取得を行なっているのを応用して消耗品の重量を計測することで在庫量を検知することが実現できると考えられる。しかしながら、既存研究の同一の圧力センサを用いて重量を取得するには、3つの問題がある。

- 様々な重量の消耗品への対応消耗品にも様々な種類があり、オフィス等で利用するプリンタ用紙やトナー、家庭で利用するコーヒー豆や牛乳といった食料品までそれぞれ重量が異なる。既存研究では重量の大きく異なる消耗品の残量検知に関しては言及されていない。また、自販機システムやプリンタ情報サービスは特定の消耗品の在庫量の取得は可能であるが種類の異なる消耗品に対しては対応することが極めて難しいという問題がある。

- 消耗品の種類の違いによる在庫量取得間隔の調整同様に, 消耗品の種類の違いによって使用頻度が異なってくる. 例えば, 冷蔵庫の中身の水とプリンタ用紙であれば利用頻度も異なれば, 在庫がなくなるまでの日数も異なってくる. 在庫量の取得を行う間隔に関しても調整できなければならない.
- 在庫の保持の有無残量そのものが在庫である場合と残量とは別に在庫を保持している場合がある. 具体的にはプリンタのようにトレイの中にプリンタ用紙を補給し, 一時的な在庫として保持するような場合である. この場合には, トレイの残量を把握するだけでは, 在庫量の把握をすることが難しい. そのため, 対象の残量が在庫量そのものである場合と, 対象の残量とは別に在庫量を保持する場合の両者に対応する必要がある. 既存研究ではこの点に関しても言及していない.

また, センサによって取得したデータを元に需要予測を行い発注点や発注量を調整する仕組みを応用することで同様に消耗品の欠品や過剰在庫をなくすことが実現できると考えられる. しかしながら, 既存研究では短期のセンサログに基づいての需要予測しか行なっておらず, 長期変動に関する言及がなされていない. そのため, 異なる季節を跨ぐ場合 (繁忙期・閑散期) の消耗品使用量の変動に対応することが難しいといえる.

3.2.1 システム要件

上記の問題点を考慮した上で本研究 3.3 では, オフィスや家庭などの異なる環境下において, コーヒー豆, プリンタ用紙, 冷蔵庫内の飲料といった種類の異なる消耗品に対して, インターネット環境を用いて利用可能な在庫量計測及び消費量予測システムが要件として挙げられる. 消耗品使用量予測システムと消耗品在庫量計測装置というようにシステムを2つに分割し, 様々な消耗品の使用量を検知し, 欠品や過剰在庫をなくす仕組みが必要である.

- 消耗品使用量予測システム
- 消耗品在庫量計測装置

3.2.2 消耗品使用量予測システム

取得した在庫重量データを基に, 消耗品使用量の予測を行う部分である. 消耗品の使用量予測システムの役割は, 消耗品在庫量取得装置によって取得した在庫量データを元に, 消耗品の使用量を予測することにある. 在庫量データを元に, 消耗品の発注量, 発注点, ステート (繁忙期・閑散期) 等を決定し, 取得した際の在庫量が発注点を下回った際に発注のアラートをかけるというものである.

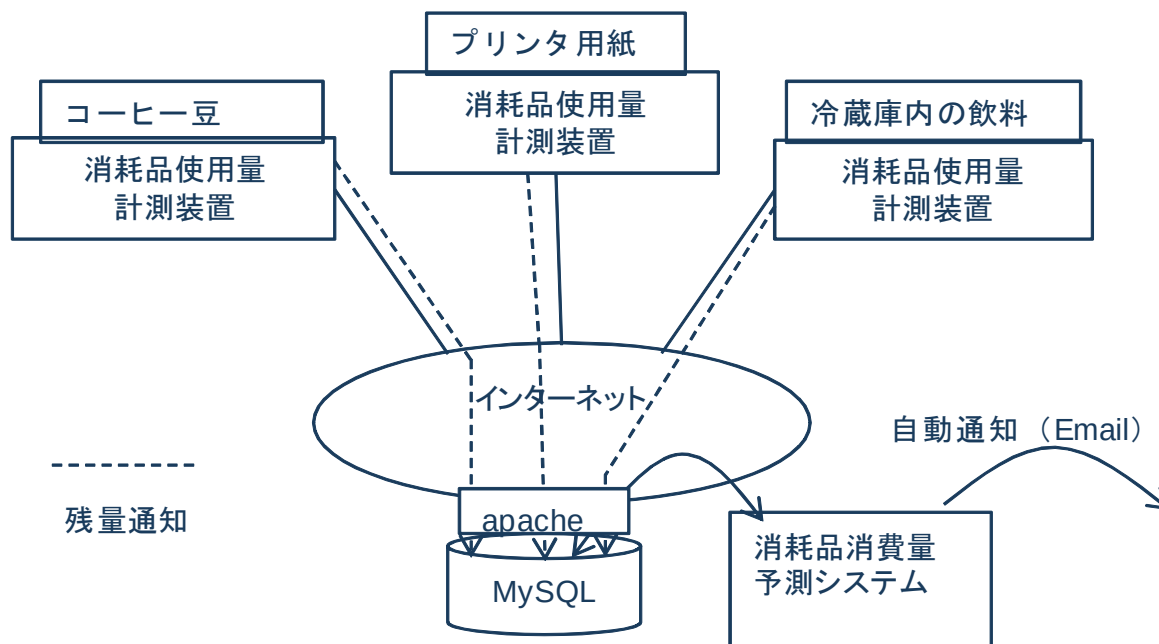


図 3.3 システム要件

3.2.3 消耗品在庫量計測装置

様々な種類, 消費頻度の異なる消耗品の在庫の重量を計測することで, 汎用的に在庫量を計測する装置である.

3.2.4 システムを実現する上での課題

消耗品使用量予測システムに関しては, 季節変動により消耗品の使用量が大きく変動するため統一的な発注のシステムを用いると, 欠品や過剰在庫を抱えることになる. そのため, 繁忙期や閑散期といったステートの判別を行い, ステートに応じて発注点や発注量を調整する, 季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムを検討する必要がある. また, 消耗品在庫量計測装置に関しては, 様々な重量, 消耗頻度, 設置環境の異なる消耗品の在庫量を計測する必要があり, それらを考慮した上で汎用的な装置を構築する必要がある.

第 4 章

季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムの提案

本章では、まずアプローチに関して述べ、季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムの説明を述べる。その後は季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムを包括している消耗品使用量予測システムの設計、実装の説明を述べる。

4.1 季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムのアプローチ

季節変動の問題点は消耗品使用量分布が複数のステート（レジーム）を有する場合である。この問題に対してステートの切り替わりタイミングを継続して蓄積しているセンサーデータから適切に推定することができれば繁忙期には在庫がある状態でも早めに通知し、休閑期はその逆にし、欠品を発生させることなく在庫量を低減できることが予想されるため、使用量分布からステートの特定を行い、ステートをスイッチングさせることで在庫量の調整を行う。本稿では消耗品の一例としてメディアセンタで使われるプリンタ用紙の消費に注目し消耗品取得装置にによってセンサーデータを継続的に収集することに加えて、長周期と短周期の最尤推定を組み合わせることで、ステートの切り替わり時期が特定できること、そしてそのタイミングで発注量を変化させることで欠品を増やさず在庫量を減らせることを報告する。

4.1.1 消耗品使用量分布の選定

使用量分布からステートを特定するためには、最尤推定を行う必要がある。最尤推定を行うに際して、対象となる消耗品の使用量の確率分布を選定する必要がある。その確率分布

表 4.1 メディアセンタプリンタ用紙の使用量分布

データ区間	頻度
0	0
2000	484
4000	338
6000	67
8000	4

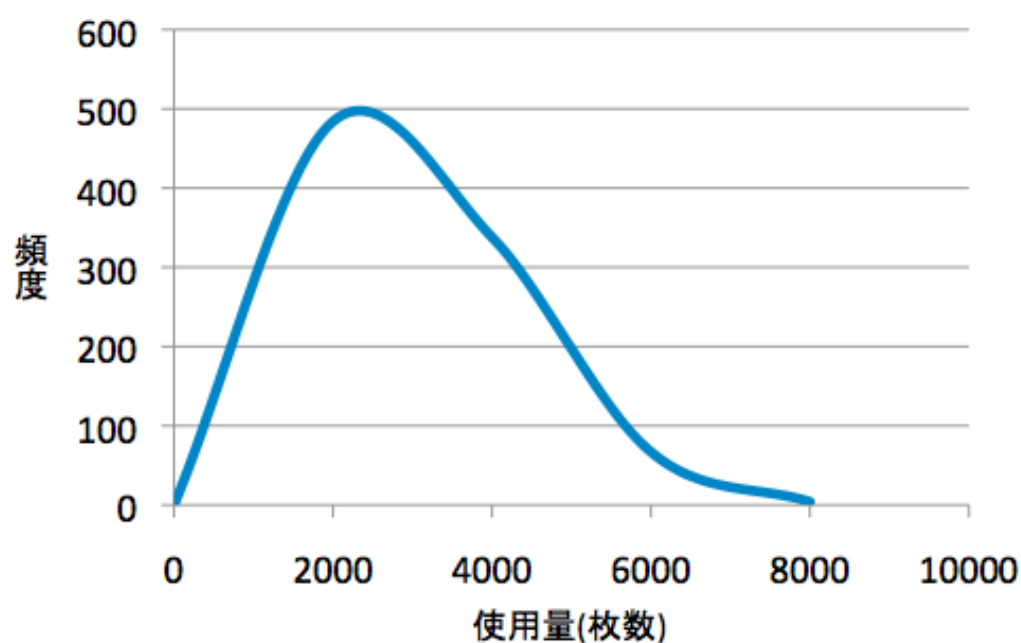


図 4.1 メディアセンタプリンタ用紙使用量の確率分布

を選定するために、消耗品の一例としてメディアセンタで使用されるプリンタのプリンタ用紙の消費に注目し 4.1 ヒストグラム化し、それをグラフとして表した。メディアセンタプリンタ用紙の消費枚数データ (約 3 年分) 4.1 を 2000 枚毎に区切り、それぞれの頻度を求めた。0～2000 までの区間は 484、2000～4000 までの区間は 338、4000～6000 までの区間は 67、6000～8000 までの区間は 4 という値を示した。その結果を 4.1 に示す。4.1 の確率分布の形状を見ると、ガンマ分布の形状と酷似しているため本研究では最尤推定を行う際の確率分布としてガンマ分布を採用した。

4.1.2 ステート切り替え時期特定

サプライの消費量 x の分布が次のガンマ分布で与えられると想定する.

$$f(x) = \frac{x^{k-1} e^{-x/\theta}}{\Gamma(k) \theta^k} \quad (4.1)$$

ガンマ関数はロングテールな消費量を表すことができさらに平均値が簡単に求められるという特性を有する.

$$\bar{x} = \int x f(x) dx = k\theta \quad (4.2)$$

ここで $\Gamma(k)$ はガンマ関数である. この分布を与えるパラメタは k, θ の 2 つである. この k, θ を観測データによって最尤推定する. 日付 i における消費量の観測値を x_i とし, 観測期間を n 日とすると, n 日測定による尤度 l_n は次の式で与えられる.

$$l_n = \prod_{i=0}^n f(x_i) \quad (4.3)$$

計算を簡単にするために対数尤度 L_n を用いることにする.

$$\begin{aligned} L_n &= \sum_{i=0}^n \ln f(x_i) \\ &= \sum_{i=0}^n (k-1) \ln x_i - \ln \Gamma(k) - k \ln \theta - \frac{x_i}{\theta} \end{aligned} \quad (4.4)$$

パラメタ k, θ の最尤推定は次の 2 つの式で与えることができる.

$$\frac{\partial L_n}{\partial k} = \sum_{i=1}^n \ln x_i - D(k) - \ln \theta = 0 \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial L_n}{\partial \theta} = \sum_{i=1}^n -\frac{k}{\theta} + \frac{x_i}{\theta^2} = 0 \quad (4.6)$$

ここでは簡単のために対数ガンマ関数の微分をディガンマ関数 $D(k)$ と書いた. つまり

$$D(k) = \frac{\Gamma'(k)}{\Gamma(k)} \quad (4.7)$$

である. この非線形方程式を Newton 法を用いて解くために, 次の導関数 J を求める.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 L_n}{\partial k^2} & \frac{\partial^2 L_n}{\partial k \partial \theta} \\ \frac{\partial^2 L_n}{\partial \theta \partial k} & \frac{\partial^2 L_n}{\partial \theta^2} \end{bmatrix} = \sum_{i=0}^n \begin{bmatrix} -T(k) & -\frac{1}{\theta} \\ -\frac{1}{\theta} & -2\frac{x_i}{\theta^3} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

表 4.2 消耗品使用量予測システムフロー

1, データベースより在庫量取得
2, 発注点設定
3, 発注量設定
4, 季節変動の判別
5, ステート変更
6, 発注点による在庫量判別
7, 発注

ここで $T(\mathbf{k})$ はトリガンマ関数である. Newton 法における繰り返しを j で表すと次の繰り返しによって $\mathbf{k}, \theta$ の最尤値を求めることができる.

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{k}_{j+1} \\ \theta_{j+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{k}_j \\ \theta_j \end{Bmatrix} - \mathbf{J}_j^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial L_n}{\partial \mathbf{k}}_j \\ \frac{\partial L_n}{\partial \theta}_j \end{Bmatrix} \quad (4.9)$$

この最尤推定の対象となる期間をセンサー設置時点から継続的にした場合 (long term) と短期 (short term = 今回は 30 日間) の 2 種類計算すると, 消費量に長期的な変動がある場合には長期変動と短期変動が交差するポイントがでてくる. この交点によって, 繁忙期と休閑期を弁別する.

4.2 消耗品使用量予測システムの設計

本節では, 消耗品使用量予測システムの設計に関して述べる.

4.2.1 システムフロー

消耗品使用量予測システムのシステムフローは 4.2 で示す. 具体的には, データベースに蓄積された消耗品在庫量データの取得を行い, 発注点及び発注量の設定を行う. 取得した消耗品在庫量を基に過去のデータを考慮した上で, 繁忙期, 閑散期などのステートの判別が行われる. ここで, 予想されたステートが現在のステートと異なる場合は, ステートの変更が行われ, それと同時に発注点及び発注量の調整が行われる. その作業とは別に, 現在の在庫量と発注点の比較が行われ, 在庫量が発注点を下回っている場合には, 発注を行うように促すアラートが管理者のもとへ送られる. これらの動作を繰り返すことで消耗品使用量予測システムは成立している.

表 4.3 安全係数による不足の確率

α の値	2.33	1.95	1.65	1.28	1.04
不足の確率	1 %	2.5 %	5 %	10 %	15 %

4.2.2 モジュール機能

季節変動アルゴリズム以外の各モジュールに関する説明を行う。

- 発注点
- リードタイム
- ステートスイッチング
- アラート

発注点

在庫量が一定の在庫水準にまで下がってきた際に、一定量の発注量を行う水準を発注点 (Ordering Point) と呼んでいる。本システムでは、この発注点を考慮することにより欠品の起こりづらい在庫管理を実現している。

発注点の特定方法

在庫を発注するしきい値として発注点を設定し、在庫管理モデルによって最適な発注点を求めた。以下にその手法を記載する。

$$K = T * \bar{D} + \alpha \sqrt{T} \sigma_D$$

ここで、それぞれの変数は以下の意味を成すことを示す。

- K: 発注点
- T: 最大調達期間 = 目標調達期間 + 許容期間
- $\bar{D}$: 一ヶ月の平均需要量
- α: 安全係数
- σ_D : 月間需要のばらつき

最大調達期間とはリードタイムと同義である。リードタイムが実際に納入されるまでの期間であるのに対して、最大調達期間は目標調達期間とそれを許容できる期間を設けることでほぼ同等の期間を設定している。一ヶ月の平均需要量は、一ヶ月の平均使用量のこと

表 4.4 消耗品使用量予測システム実装環境

言語	Java
OS	Windows XP Professional(x32)
OS バージョン	Version 5.1
開発環境 (IDE)	Eclipse Java EE IDE for Web
IDE バージョン	Helios Service Release2

である。安全係数は欠品を起こす確率を示しており、この値が高いほど、欠品率は低くなる。その反面高すぎると在庫が過剰になってしまう恐れがある。月間需要のばらつきは標準偏差を示している。

リードタイム

発注を行ってから、実際に納入されるまでの期間をリードタイムと呼んでいる。本システムでは、リードタイムを予め考慮することにより欠品を抑えるための自動的な発注の仕組みを実現している。

ステートスイッチング

本システムでは繁忙期と閑散期の2つのステートを持っており、時期によってそれぞれ発注点と発注量の調整を行なっている。ステートスイッチングを行うことによって、季節に応じた適切な欠品や在庫に対応することが可能になっている。

アラート

消耗品の在庫量が発注点に達した際に、管理者へ通知を行う仕組みである。あらかじめ、連絡先を登録しておくことで消耗品在庫量が発注点に達した際に、アラートメールの発信を行う。この仕組みにより、ユーザが随時消耗品の在庫量を監視しなくとも、発注のタイミングを認識することが可能になる。

4.3 消耗品使用量予測システムの実装

ソフトウェアは統合開発環境の Eclipse4.2 上で Java 言語を用いて開発を行った。開発環境の詳細を 4.4 に示す。

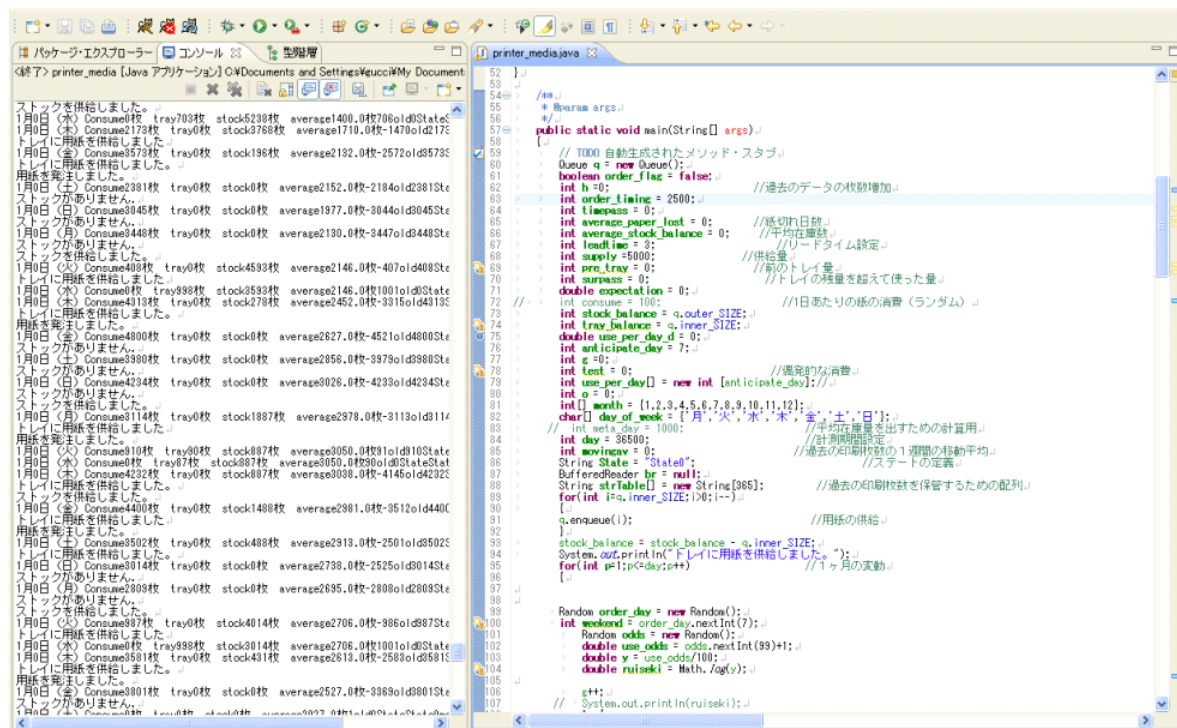


図 4.2 消耗品使用量予測システム実装図

4.4 季節変動に対応した在庫調整アルゴリズムのシミュレーションによる性能評価

4.4.1 評価項目

提案手法を、ステート切り替え点の検出精度と、在庫量の削減量の2つの観点で評価する。

4.4.2 評価環境

評価環境は、本章の季節変動に対応した在庫量アルゴリズム搭載システムの実装で述べた環境と同一の環境で行った。

4.4.3 評価方法

ステート切り替え点の検出精度はメディアセンタ内に設置した2台のプリンタの実測データおよび、研究室に設置したコピー機の実測に基づいて作成したデータについて、それぞれ繁忙期と休閑期の切り替え点を、上記手法で評価する。メディアセンタは試験などに

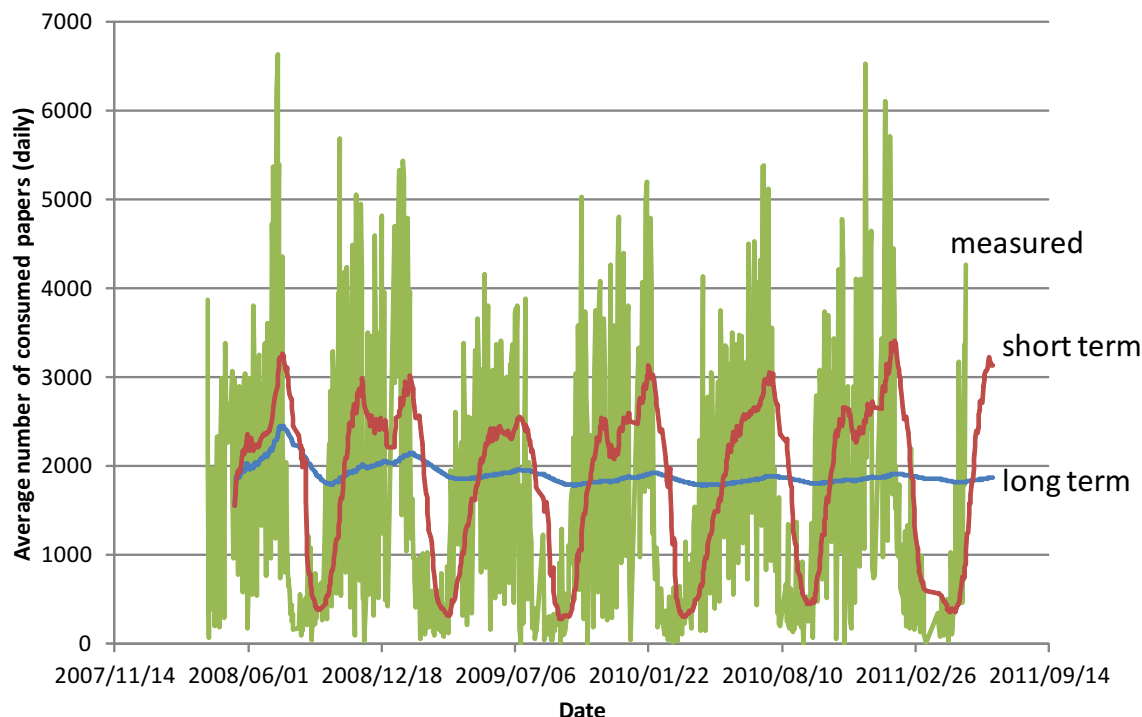


図 4.3 メディアセンタプリンタ A のステート切り替え点推測結果

よって大量のプリント・コピーが発生するため顕著な季節変動がある。一方、研究室プリンタは年間を通じてあまり大きな変動なく運用している。メディアセンタコピー機 A、B と研究室プリンタの実測データ (measured)、長期最尤推定 (long term)、短期最尤推定 (short term) の計算結果を図 4.3, 4.4, 4.5 にそれぞれ示す。どの場合にも実測データはかなり変動が激しいが、短期の最尤推定によって高周波数成分がフィルタリングされ、長期的な変動をトレース出来ていることがわかる。特にメディアセンタ A、メディアセンタ B については夏期、春期休暇期間中に使用量が大幅に減る現象をうまく捕らえている。一方、研究室プリンタは長期的な変動成分がないため、長期成分と短期成分が年間を通じてほぼ拮抗していることがわかる。したがって、メディアセンタについては、時期に応じて発注点や発注量を調整することで、紙切れがなく在庫を減らせること、研究室においてはその必要性は高くはないことがわかる。このように本手法を用いることによって、使用量（メディアセンタは一日平均 2000 枚程度、研究室では 100 枚程度）や、長期的な変動のあるなしに関わらず消耗品の消費量を推測できることがわかる。

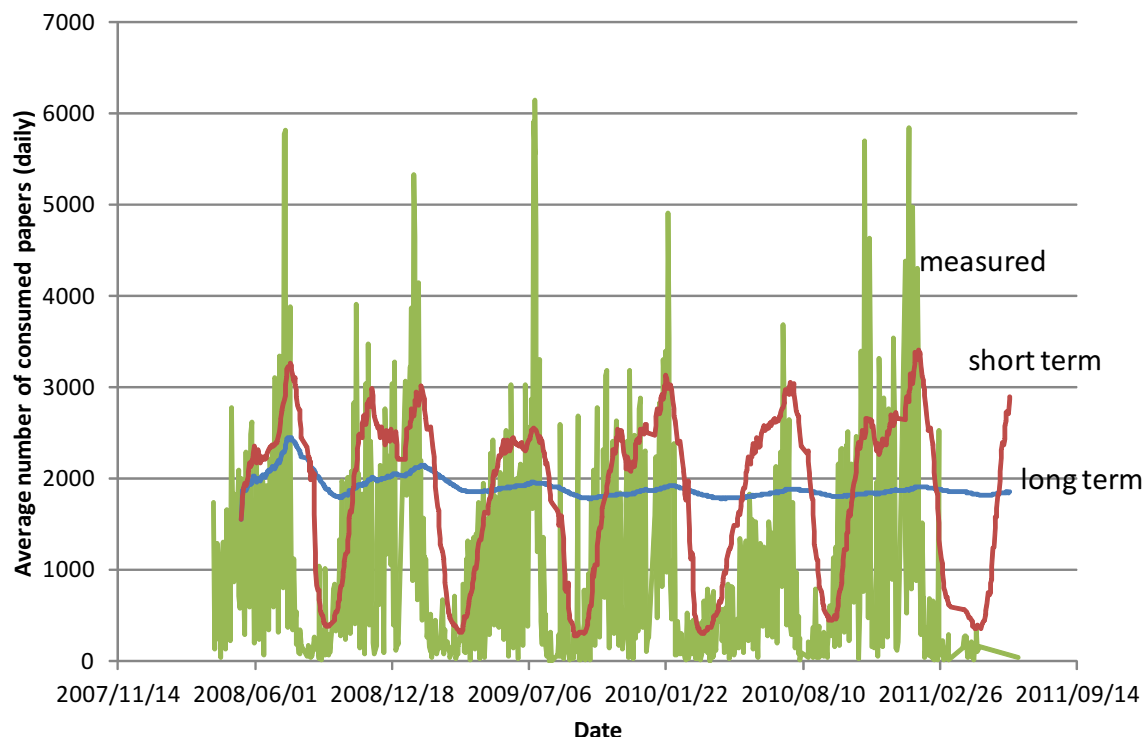


図 4.4 メディアセンタプリンタ B のステート切り替え点推測結果

ステート切り替えによる在庫量削減効果の評価

4.4.4 評価結果

図書館プリンタ A について、ステート切り替え点を最尤推定によって求めた後に、発注量・タイミングのを繁忙期と休閑期で切り替えた場合の年間在庫量についてシミュレーションによって比較を行った。シミュレーションでは、実測によるプリンタ用紙の使用量をもとに、在庫量が一定値になったら一定量を発注するようにしている。ステート切り替えによる効果を定量化するために、まず、ステートを切り替えない条件で、年間に発注遅延による紙切れが起こらないように発注タイミングと発注量を定める。最尤推定を用いたモデルは、短期予測および長期予測の値を（シミュレーション上で）毎日比較し、前者が後者よりも小さい値の状態から大きい値になる際に交点が来る場合は、発注量および発注タイミングを初期に設定した値（発注量：70000 枚、発注タイミング：35000 枚）に戻し、前者が後者の値よりも大きい値から小さい値になる場合には発注量および発注タイミングを初期設定の値の半分に変更する。最尤推定を用いない場合は、発注タイミングおよび発注量は初期設定のまま固定とした。シミュレーションにより図 4.6、図 4.7 に示す在庫量の遷移が得られ

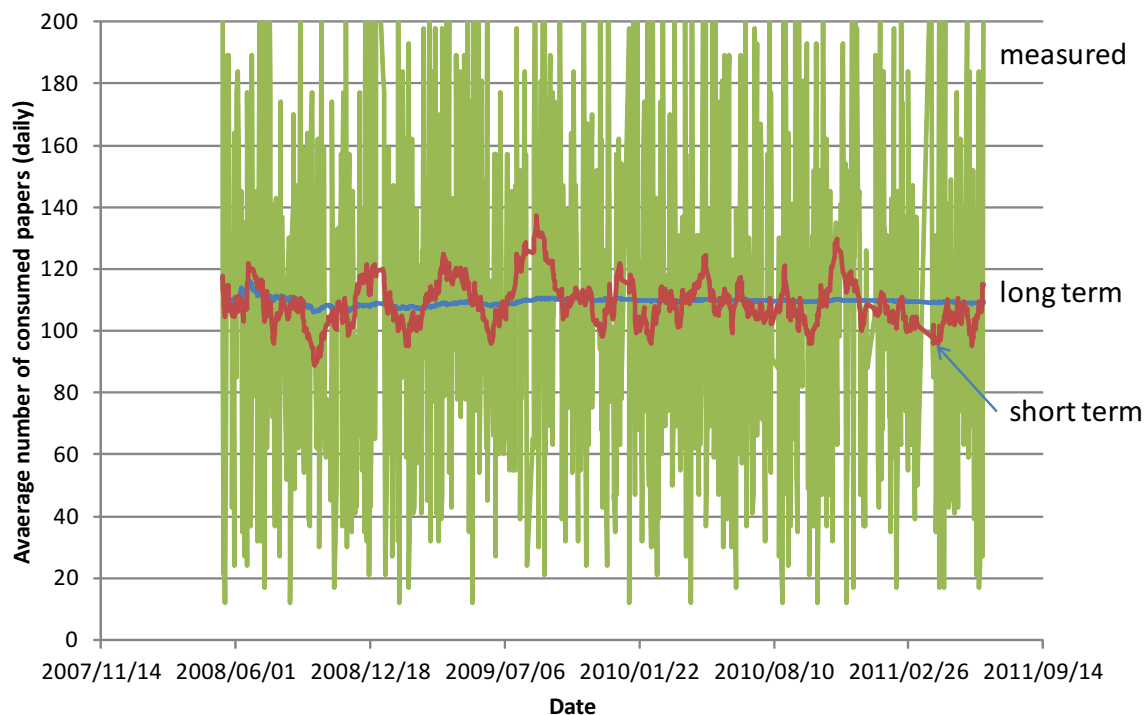


図 4.5 研究室プリンタのステート切り替え点

た. 最尤推定を行う場合には, 休業期間の在庫量が自動的に削減出来ていることが示されている. 年間の延べ在庫量を計算すると最尤推定を用いた場合では 4941 万枚, 用いない場合では 5627 万枚という結果が得られた. 最尤推定を用いたシミュレーションのほうが用いない場合と比較して 12.1 % 4.8 の在庫量を削減できている.

4.4.5 本章のまとめ

本章では, 季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムに関して提案をした. 次章では, 消耗品の在庫量取得装置の提案について述べる.

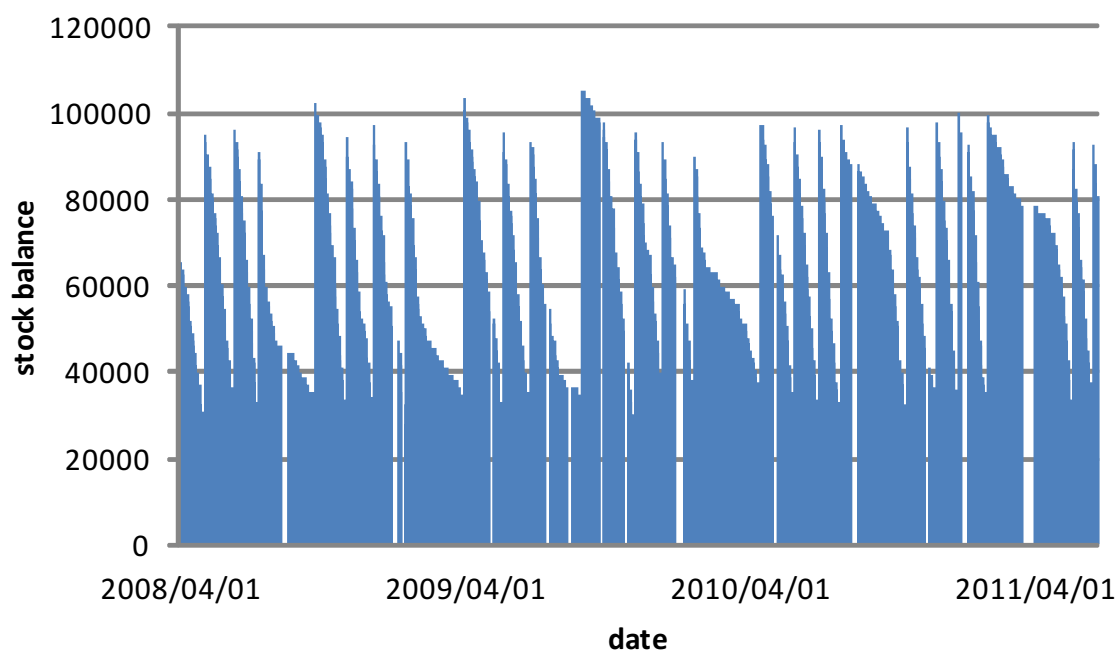


図 4.6 ステート切り替えを行わない場合の在庫量の変遷

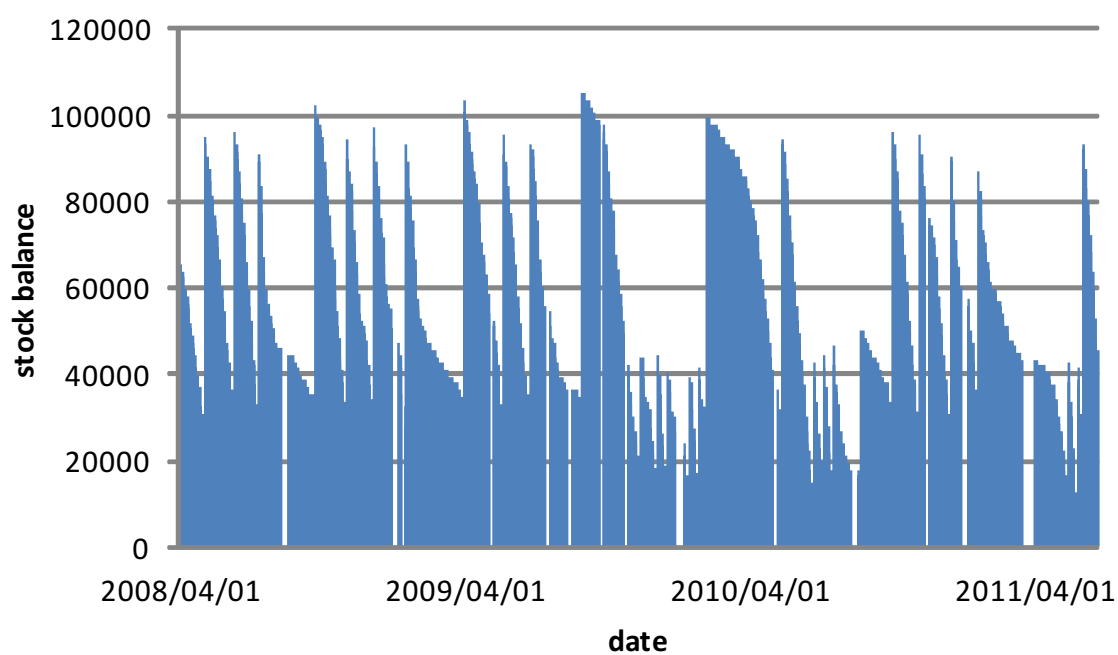


図 4.7 最尤推定によるステート切り替えを行う場合の在庫量の変遷

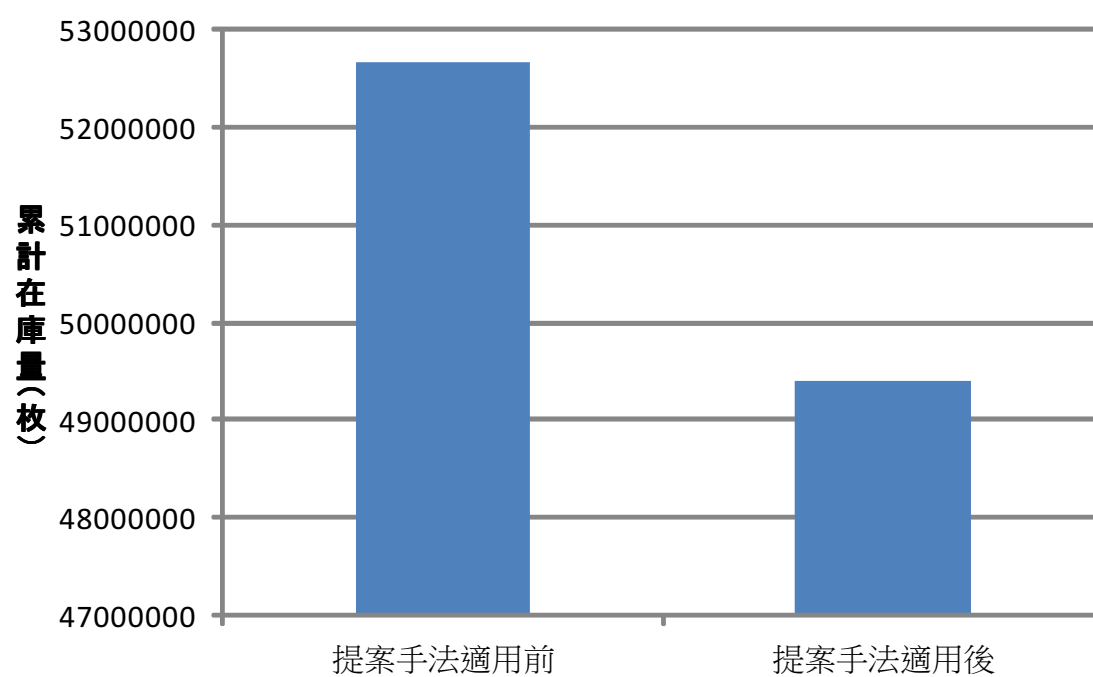


图 4.8 累積在庫量削減結果

第 5 章

消耗品の在庫量取得装置の提案

5.1 消耗品の在庫量取得装置へのアプローチ

本研究では, 消耗品の在庫量を重量として捉え市販の体重計を用いて残量を取得し, センサネットワークを通してデータの送受信を行うことで消耗品の種類や使用頻度に関わらず, 残量を取得できる仕組みを提案する.

5.2 消耗品の在庫量取得装置の設計

前節で示したアプローチに対する設計を本節では示す.

5.2.1 システム設計

体重計及び重量スケールにはセンサボードが接続されている 5.1. センサボード 5.2 には MSP430 と ZigBee デバイスである XBee が搭載されている. MSP430 と体重計 5.5 及び MSP430 と XBee は UART で接続されており, ZigBeeCoordinator5.9 と Alix のサーバも同様に UART で接続されている. ZigBee EndDevice,Router,Coordinator 間は無線で通信が行われる.

5.3 消耗品の在庫量取得装置の実装

本章では前節で述べた設計を実現するための実装について述べる. 実装を行うための機器を以下の表 5.1 に, 実装環境を 5.2 にまとめる. 5.1 に示すように, センサボードと呼ばれる複数のセンサ及びマイコンを設置したボードを用い, マイコンに対してプログラム実装を行うことで設計を実現した. また, 消耗品の重量を計測する機器に関してはプリンタ用紙, 冷蔵庫内飲料にそれぞれ Panasonic EW-FA215.5 及び TANITA KD-3205.7 を用いた.

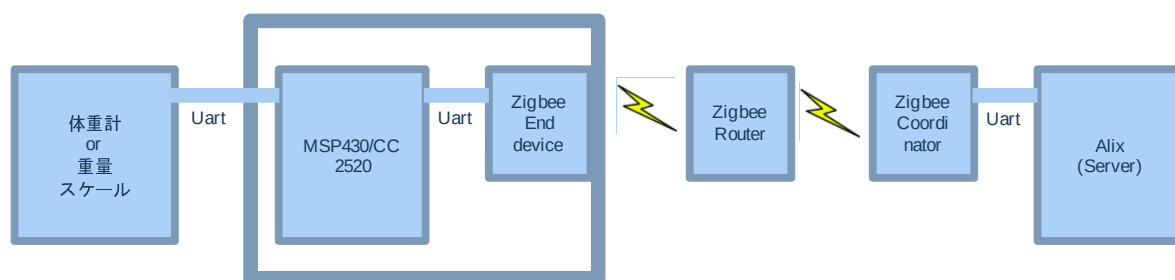


図 5.1 消耗品の在庫量取得装置システム図

表 5.1 消耗品在庫量取得装置に用いた機器一覧

利用端末
SensorBoard
Panasonic EW-FA21
TANITA KD-320
Alix

表 5.2 開発プラットフォーム

レイヤ	開発プラットフォーム	言語
Hardware	IAR Embedded Workb	C
Software	Eclipse	Java

データの格納及びセンサボードに対してコマンド指示を行うためのサーバーとして Alix を用いた。開発環境は 5.2 に示すように、IAR Embedded Workbench 上で C 言語を用いて実装を行った。

5.3.1 センサボード

本研究で用いたセンサボード 5.2 の主要機能として消耗品在庫量取得、取得データ格納がある。それぞれ、センサボード内の MSP430、ZigBee がその役割を担っている。次項において、MSP430 及び、ZigBee に関して具体的な役割について述べる。また、センサボードのモジュール配置は 5.3 のようになっている。

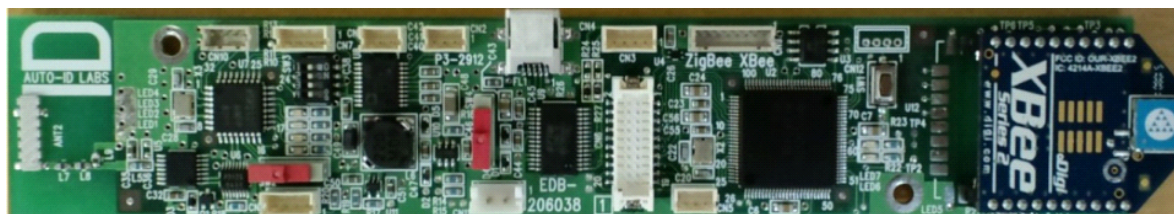


図 5.2 センサボード画像

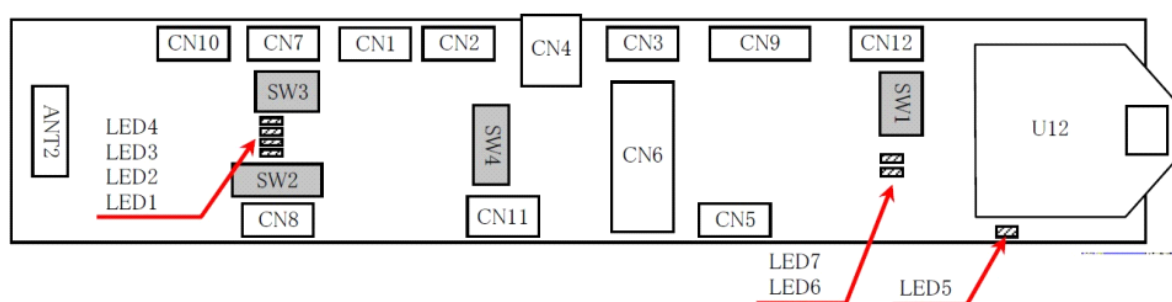


図 5.3 センサボード構成図

Device	Flash (KB)	SRAM (KB)	Timer_A ⁽¹⁾	Timer_B ⁽²⁾	USCI		ADC12_A (Ch)	I/O	Package Type
					Channel A: UART/IrDA/ SPI	Channel B: SPI/I ² C			
MSP430F5438	256	16	5, 3	7	4	4	14 ext / 2 int	87	100 PZ

図 5.4 MSP430 スペック

5.3.2 MSP430

体重計及び重量スケールから消耗品の在庫量を取得する際に用いるマイコンである。本研究では、アナログ体重計、重量スケールを用いているために体重計より取得した電圧をアナログからデジタルに変換を行う必要がある。この A/D 変換は 5.4 の ADC12 モジュールを用いて行う。

5.3.3 Panasonic 体重計

プリンタ用紙の在庫量の取得を行う機器として Panasonic EW-FA215.5 を用いた。市販の体重計 5.3 であり、高さ 4.5cm、幅 29.9cm、奥行 31.3cm で最大測定重量は 136kg である。また、5.6 は 5.5 を解体した図である。体重計の四方にロードセルが格納されており、ロードセルから伸びているコードの先にアンプの設置されたボードを付け、ボード上には電圧を調整するための抵抗とノイズを取り除くためのセラミックコンデンサを設置した。このよ

表 5.3 Panasonic 体重計詳細

製品名	体組成バランス計
製品番号	EW-FA21
メーカー名	Panasonic
サイズ	高さ 4.5cm × 幅 29.9cm × 奥行 31.3cm
最大測定重量	136Kg



図 5.5 体組成バランス計

うにしてロードセルで計測した電圧をアンプで増幅させている. 5.6 の四方のロードセルで計測した電圧をアンプで増幅させた.

5.3.4 TANITA 重量スケール

冷蔵庫内の飲料を計測する機器として TANITA KD-3205.7 を用いた. 市販のキッチンスケールであり, 高さ 210mm, 幅 150mm, 奥行 35.5mm で最大測定重量は 3000g である. また, 5.8 は 5.7 を解体した図である. 中央の円形の台の下にロードセルが格納されており, 体重計と同様にロードセルから伸びているコードの先にボードに設置されたアンプを取り付け, ボード上には電圧を調整するための抵抗とノイズを取り除くためのセラミックコンデンサを設置した. このようにしてロードセルで計測した電圧をアンプで増幅させている.

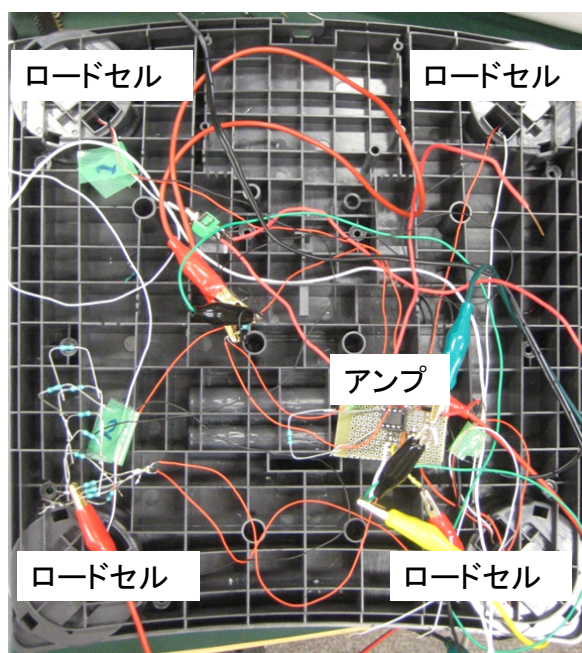


図 5.6 体組成バランス計実装状況

表 5.4 TANITA 重量スケール詳細

製品名	デジタルクッキングスケール
製品番号	KD-320
メーカー名	TANITA
サイズ	高さ 210mm × 幅 150mm × 奥行 35.5mm
最大容量	3000g

5.3.5 ZigBee

MSP430 より取得した消耗品在庫量データは同一の基盤内の ZigBee モジュールを通してサーバ内のデータベースに蓄積される。Zigbee は本来 Coordinator, Router, End Device の 3 つに分けられるが, 本研究では Coordinator には Digi 社の ConnectPort X45.3 を, End Device には XBee を用いた。

5.4 消耗品の在庫量取得装置の性能評価

本章では, 前章で行った実装を基に動作確認を行い, 提案方式の評価を行う。

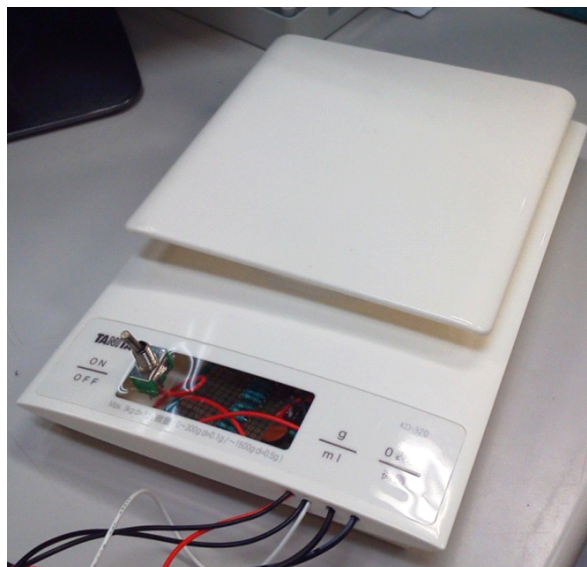


図 5.7 デジタルクッキングスケール

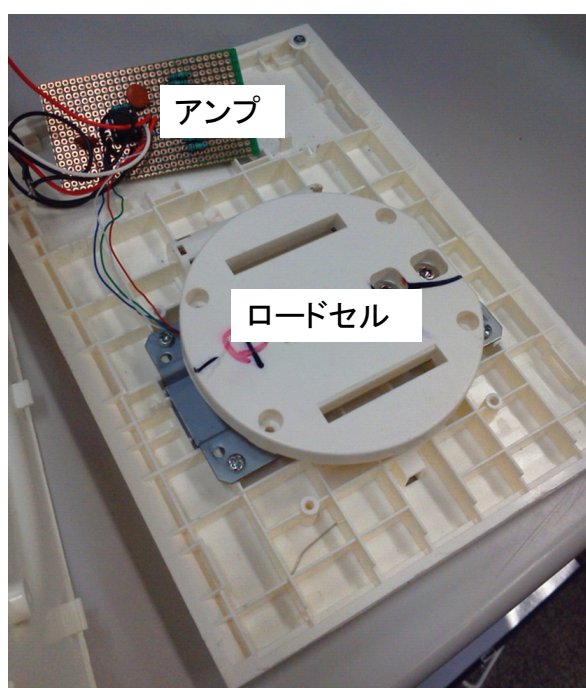


図 5.8 デジタルクッキングスケール実装状況

5.4.1 評価項目

- 消耗品在庫量の取得電圧増幅結果の確認
研究室プリンタおよび研究室冷蔵庫内飲料の取得電圧の増幅結果に関して、それぞれ

表 5.5 ZigBee スペック

製品名	XBee
性能（室内）	40m
性能（室外）	120m
周波数帯域	2.4GHz



図 5.9 Zigbee Coordinator

れ確認を行う。

- 消耗品在庫量の在庫量取得結果の確認

研究室プリンタ及び研究室冷蔵庫内飲料の在庫量が取得できているかの確認を行う。

5.4.2 評価環境

研究室内のプリンタの用紙在庫量を 5.10 の装置を用いて取得を行う。本装置は評価対象となる研究室プリンタの横に設置し、在庫となるプリンタ用紙を全てこの装置に載せることで在庫量を取得するようになっている。また、研究室の冷蔵庫内の飲料水を 5.11 の装置を用いて取得する。本装置は研究室内冷蔵庫内に設置し、装置の上には水を入れたポットを載せている。

5.4.3 評価結果

本提案方式を実装した上での動作確認を行う。研究室内のプリンタ用紙在庫量と研究室冷蔵庫内の飲料水の両者において取得電圧の増幅結果と取得在庫量の推移を示す。



図 5.10 在庫量取得装置を用いたプリンタ用紙在庫量取得の様子

研究室内プリンタ用紙在庫量

アンプにより増幅させた電圧を以下 5.6, 5.7 に示す. 増幅前は取得できる電圧が低すぎたため精度の高い在庫量の検知が難しかったが, アンプによる増幅によりプリンタ用紙 1 冊の電圧は 2.3mV から 1132mV へ 2 冊の電圧は 2.4mV から 1208mV へ, 以降 14 冊の場合は 3.8mV から 1867mV へ増幅させた. 1 冊毎の増幅値の平均は 55mV 程度であることが確認できた. これにより, 増幅前には取得が難しかった在庫量をアンプ増幅により検知することが可能になった. 本装置を用いて, 研究室内プリンタ用紙在庫量を検知した結果を 5.12 に示す. グラフの横軸には, 日付, 縦軸には冊数を取っている. 5.12 によると, 10 月 26 日, 11 月 8 日にプリンタ用紙の束数が一冊減っており, 11 月 11 日には 6 冊減っているのがわかる. また 11 月 16 日には 4 冊補給されているのがわかる. また, 11 月 20 日から 12 月 8 日までの空白期間は対外発表のため, 装置を実験環境から外していたためである. 取得間隔

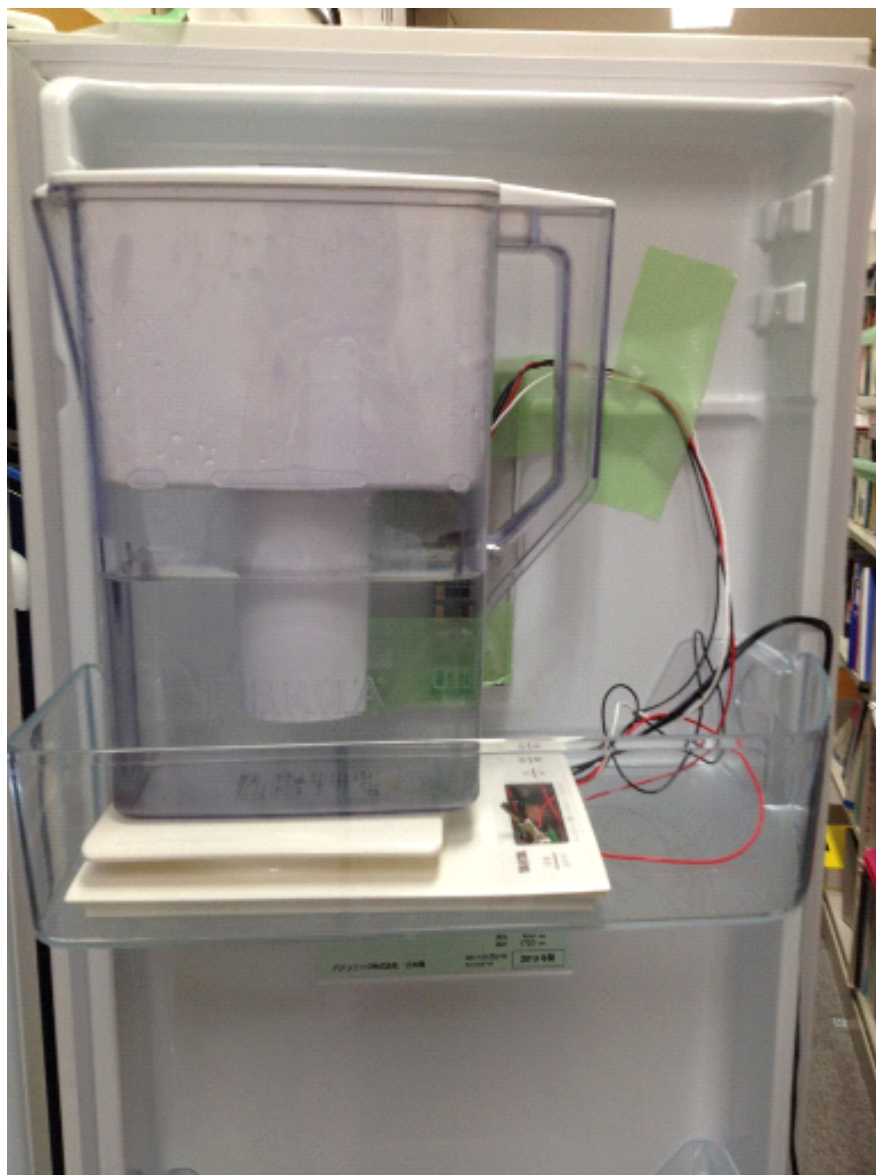


図 5.11 在庫量取得装置を用いた冷蔵庫内飲料残量取得の様子

は 5 分間で取得を行った。上記の結果より、プリンタ用紙の在庫量の増減を検知可能であることを確認することができた。

研究室冷蔵庫内の飲料水

アンプにより増幅させた電圧を以下 5.8 に示す。何も載せていない場合の増幅前の電圧は 0.6mV であり、アンプを用いて 684mV まで、また容器のみ、容器＋水（半分）、容器＋水（満タン）の場合はそれぞれ、3.4mV から 811mV、5.8mV から 1435mV、7.8mV から 1881mV へ増幅させた。これにより容器内の満タンの水は 1000mV 程度であることがわかる。本装置を用いて、研究室冷蔵庫内の飲料水の残量を検知した結果を 5.13 に示す。1 月 8

表 5.6 研究室内プリンタ用紙重量のアンプによる増幅結果

冊数	増幅前 (mV)	増幅後 (mV)
0	2.2	1096
1	2.3	1132
2	2.4	1208
3	2.5	1263
4	2.7	1318
5	2.8	1373
6	2.9	1429
7	3	1483
8	3.2	1539
9	3.3	1594
10	3.4	1649
11	3.5	1705
12	3.6	1766
13	3.7	1814
14	3.8	1867

表 5.7 研究室内プリンタ用紙重量のアンプによる増幅結果平均値

一冊毎の増幅値の平均	55.07143
------------	----------

日から装置を設置し, 同日に及び, 1 月 9 日に 1 回, 1 月 10 日に 2 回, 飲料水の残量が 0 になり, それと同時に補給をしているのがわかる. 取得間隔は 1 分間隔で行った. 上記の結果より, 冷蔵庫内飲料水の残量の増減を検知可能であることを確認することができた.

5.4.4 本章のまとめ

本章では, 消耗品の在庫量取得装置の提案を行い, 装置開発のためのアプローチ, 設計, 実装に関して述べ, 最後に性能評価による動作確認を行った. 種類および消費頻度の異なる消耗品である, 研究室プリンタ及び冷蔵庫内飲料水に関して, 在庫量取得頻度を設定し, 重量による在庫量の取得が可能であることを示した.

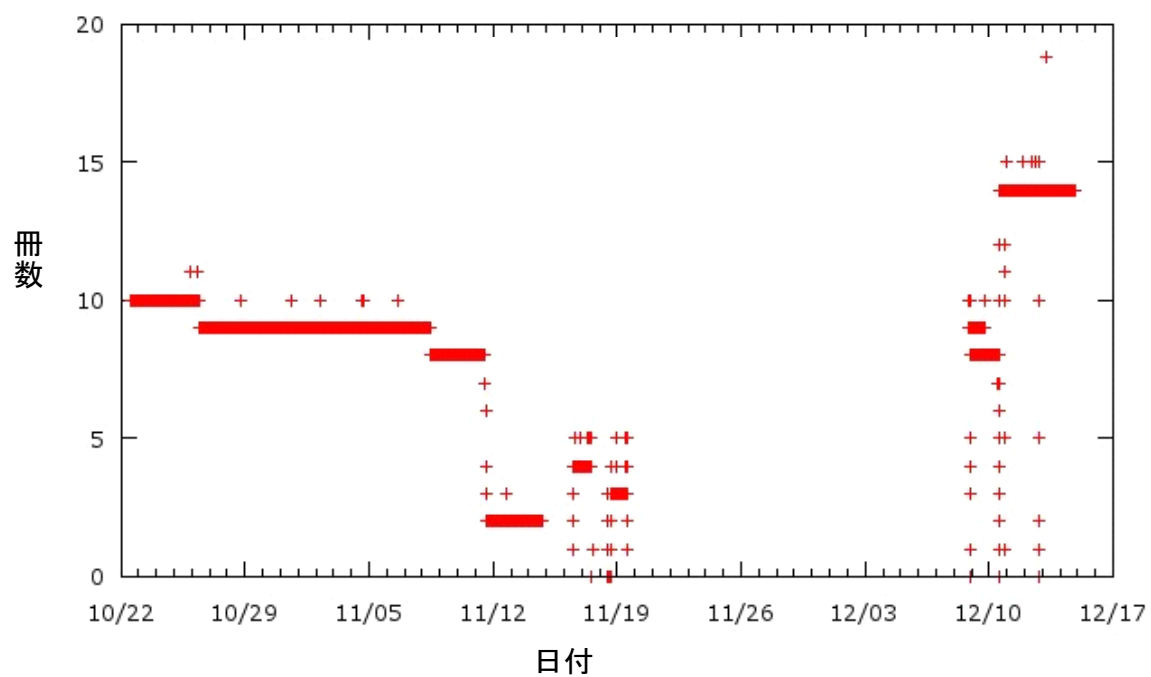


図 5.12 在庫量取得装置によるプリンタ用紙重量センシング結果

表 5.8 冷蔵庫内飲料重量のアンプによる増幅結果平均値

	増幅前 (mV)	増幅後 (mV)
何も載せていない状態	0.6	684
容器のみ	3.4	811
容器+水 (半分)	5.8	1485
容器+水 (満タン)	7.8	1881

第 6 章

重量センシングと実測値の比較による本システムの評価

第 4 章, 及び第 5 章において在庫量調整システム, 在庫量取得装置の提案に関して述べたが本章では実際に取得装置によって取得したデータに基づいて在庫量調整システムを動かし実測値との比較により本装置のみで正確な消耗品の使用量の取得が可能なことを示す.

6.1 評価項目

重量センシングの実測値に基づいて, 本システムが正常に動作を行うかを以下の 2 つの項目から評価する.

- 平均値
- 確率分布

6.2 評価環境

評価環境は第 4 章及び第 5 章と同様の評価環境で行った.

6.3 評価方法

研究室プリンタの使用状況および, 研究室内冷蔵庫飲料の使用状況のデータを基に在庫調整アルゴリズムを動かし, 本システムの動作状況を確認する. また, 冷蔵庫内飲料の評価に関しては, 液体という性質上, 比較対象となる消費量データの取得が難しかったため, 研究室プリンタのみでの評価を示す.

6.3.1 研究室プリンタ

研究室プリンタのプリンタ用紙消費枚数を重量センシング及び SNMP によるカウントでそれぞれ 2012 年 10 月 16 日から 12 月 31 日までの間取得を行った。この取得したデータを本システムによる最尤推定を行い、最尤推定により得られた平均値及び確率分布を基に比較を行う。本システムで最尤推定を行う際の問題点として消費枚数が 0 に近い値であると、計算処理を行う際に問題が発生してしまい、計算処理が行えないため、一日あたりの消費枚数が 0 の日が存在する場合は消費枚数が存在する日までさかのぼり、その消費枚数を 0 の日の日数に 1 日を足した値で割った値を消費枚数が 0 枚の日の消費枚数として計算を行った。

平均値

重量センシング及び SNMP の実測値を基に最尤推定を行い 2011 年 10 月 17 日から 1 月 5 日までの長期間の平均使用量を継続して求めた。それぞれの平均値の差分を取り、その値を誤差として計測することで重量センシングと SNMP で取得する消費量に違いが見られるかの評価を行う。また、その際に、本システムによる重量センシングの場合、研究室プリンタのトレイの最大容量である 2000 枚分結果に遅れが生じることが考えられる。そのため、評価を行う際に、プリンタ用紙の累積使用量をプリンタトレイの最大容量 (2000 枚) で割った値を前提誤差として考慮する必要がある。

確率分布

重量センシングの実測値及び最尤推定値の累積密度分布を比較することにより評価を行う。実測値は区間を 50(枚) 区切りに設定したヒストグラムにより、頻度によって分けその累積密度を求めた。また、最尤推定値は最尤推定により求めた 2 つのパラメータ値をガンマ関数の式に当てはめ、累積密度を求めた。実測値と最尤推定値の類似度を測るためにグラフの距離の積分を取り、最尤推定値の積分に占める実測値と最尤推定値の差分の積分を求めた。

6.4 評価結果

6.4.1 平均値

重量センシング及び SNMP によるカウントの最尤推定による平均値の結果を図 6.1 に示す。図は縦軸に割合を横軸に日数をとっている。2 つのグラフを比較すると、青の実線で表示している重量センシングと SNMP の最尤推定による平均値の誤差は日数が経過する

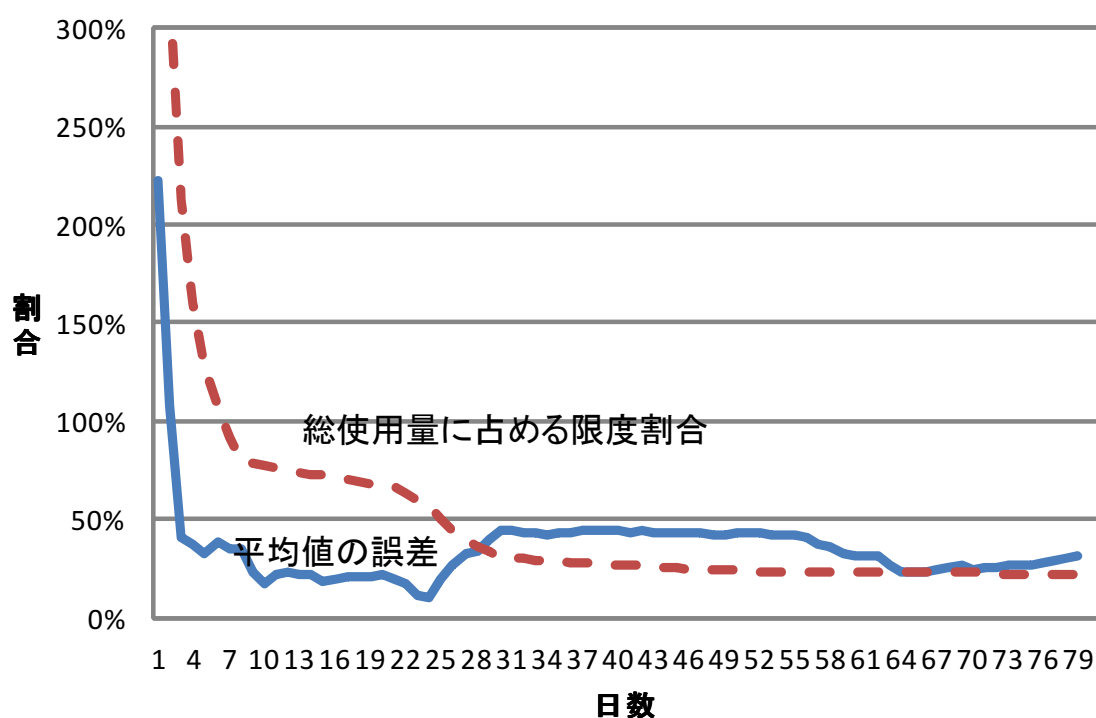


図 6.1 重量センシング及び SNMP の平均値比較

につれ, 収束しているのがわかる. 重量センシングの最尤推定による平均値の値は 79 日経過後において, 136 枚であり, SNMP の最尤推定による平均値の値は 79 日経過後において 94 枚である. 両者の値を比較した際にその誤差は 31 %であるといえる. また, 赤の点線で示された研究室のプリンタ用紙総使用量に占めるトレイ限度数の割合も同様に日数が経過するごとに収束し, 79 日経過後には 22 %になる. ここでこの前提誤差である 22 %を平均値の誤差から引いた値である 9 %が実質的な重量センシングと SNMP による取得値の誤差であるといえる.

6.4.2 確率分布

重量センシングの実測値及び最尤推定値の累積密度分布を 6.2 に示す. 横軸に消費量 (枚), 縦軸に累積密度を取る. 青の実線で描かれたグラフは重量センシングによって取得された値であり, 赤の点線で描かれたグラフは, 重量センシングによって得られたデータを最尤推定にかけ, 得られた 2 値のパラメータをガンマ関数に当てはめ, 累積密度を求めたものである. 実測値と最尤推定値の差分の積分は 91 であり, 最尤推定値のグラフの積分は 1272 であった. これより, 実測値と最尤推定値の類似度の差は 7.15 %であることが示せた.

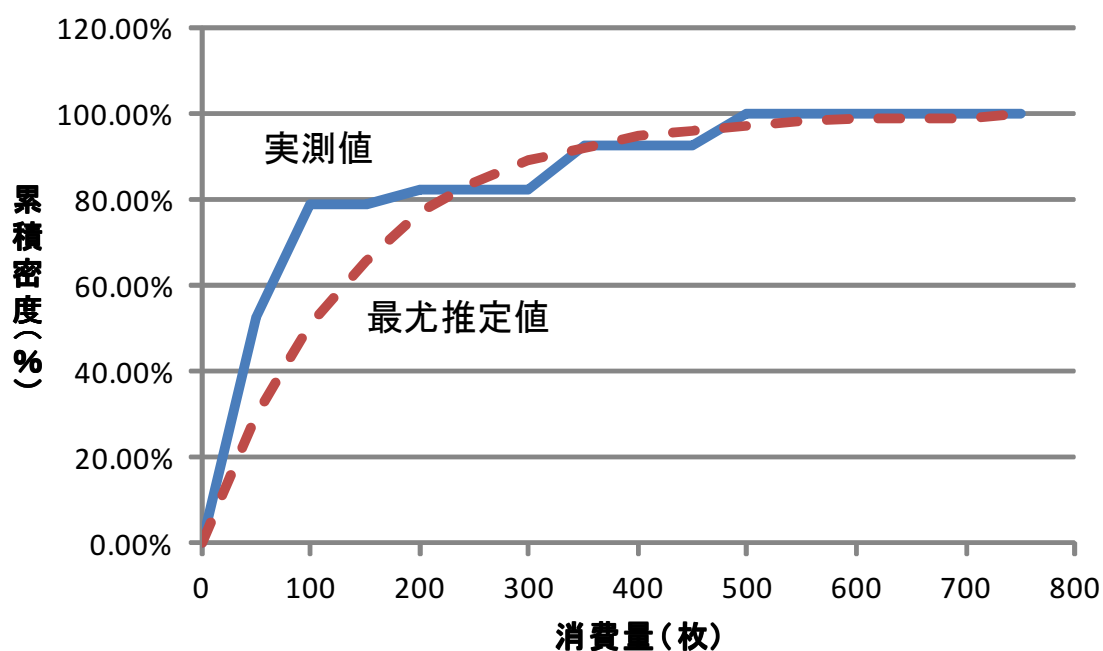


図 6.2 重量センシング及び SNMP の累積密度分布

6.5 考察

平均値及び確率分布による重量センシングと SNMP 取得値の比較により, 前者は 9 %, 後者は 7.15 % の誤差であった. 本実験で 79 日間中のプリンタ用紙在庫量の使用回数が 5 回であることを考慮すると, この値はわずかな誤差であることがわかる. また, 検知日数を増加させることにより前提誤差は減少していくので, 誤差はより小さくなっていくことが容易に想定できる. この結果により, 重量センシングのみの計測でプリンタ用紙の使用量をほぼ正確に予測することができるといえる.

第 7 章

結論

オフィスや家庭で紙やトナーなどの消耗品は、ほとんど目視による観測と人の記憶によって在庫や供給が管理されており、必要な時に欠品したり、購入しすぎて在庫の保管に困ることが多い。センサーを用いて在庫量を常時モニタすることで、こうした非効率を改善することが期待できる。そのため、本論文では以下の 2 つを実現した。1 つめに、消耗品使用量予測システムを実装し、季節変動に対応した在庫量調整アルゴリズムの提案を行い、メディアセンタプリンタの実測データに基づいたシミュレーションにより評価を行った。消耗品の使用量は確率分布を持つため、日々の変動が大きく、センサーデータから消費量を適切に推定することは難しい。特に年間で長期的な変動を生じる場合（たとえば休暇期間には消費量が減るなど）には、供給を控えめにすることが望ましいが、センサーデータからその切り替えポイントを正確に導くことはこれまで十分に検討されていなかった。本論文では、長期・短期の最尤推定を組み合わせることで、ステートの切り替え時期をセンサーデータから自動的に検出し、それに基づいて発注タイミング・発注量を調整することを提案し、数値シミュレーションによってその効果を定量化した。メディアセンタプリンタの実測データに基づくシミュレーションによれば、休閑期を自動的に検出することにより、年間の延べ在庫量を 12.1% 低減できることがわかった。2 つ目に、消耗品の在庫量取得装置を提案し、研究室内のプリンタ用紙及び、冷蔵庫内の飲料の在庫量を本装置により取得後に取得データに関して評価を行った。消耗品の在庫は、残量とは別に在庫が存在するようなオフィスプリンタの在庫量と残量と在庫量が同一である冷蔵庫内の飲料の在庫量が挙げられる。それぞれ、消耗品の種類、使用頻度、管理方法が異なるが在庫量の重量をセンシングすることで使用量の推定が可能であるといえる。実装には、市販の体重計を改造することとセンサーを用いて、センサーネットワークを構築することで、問題である、消耗品の種類或使用頻度を解決した。実際に、重量センシングによるデータを一定期間集計しそれらのデータと SNMP による実測値をシミュレーションによる最尤推定を行うことによって、平均値及び確率分布を求めそれぞれに関して比較を行うことで評価した。その結果、平均値は 9 %、

確率分布は 7.15 %の誤差という数値を得られた. これにより, 本装置のみで種類や使用頻度の異なる消耗品の正確な使用量の取得を行うことが可能であることを示せた.

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導をいただきました慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士、同学部教授中村修博士、政策・メディア研究科講師羽田久一博士、同研究科助教稲葉達也氏、同研究科助教鈴木茂哉氏、同研究科助教中根雅文氏に感謝いたします。そして、学部・修士在籍中に最もお世話になった慶應義塾大学環境情報学部准教授三次仁博士に深く感謝いたします。三次博士には、自身がお忙しい中で論文執筆や研究そのものをどのように進めるべきかについて相談に乗っていただき、様々な助言を頂きました。三次博士のご指導なくしては、本論文は存在しえませんでした。重ねて感謝いたします。研究室生活において常に苦楽を共にしてきた、Auto-ID ラボラトリーの研究室の仲間である、慶應義塾大学政策・メディア研究科博士課程鈴木詩織氏、同大学メディアデザイン研究科修士課程杉本健一氏、同大学政策・メディア研究科修士課程米村茂氏、宮崎圭太氏、同大学環境情報学部佐藤友紀氏、横石雄大氏、DoanHoaiNam 氏、吉田守氏、五十嵐祐貴氏、三樹良亮氏、小藺宏樹氏、清水真有氏、内山貴博氏に感謝いたします。特に吉田氏には装置実装についてサポートしてもらいました。また、Auto-ID Lab. Japan においてお世話になりました株式会社日放電子白石雅彦氏、ホロシェフロマン氏、株式会社ブロードバンドタワー青木伸行氏、電機工業株式会社松本伸史氏、日本 IBM 株式会社荻阪浩輔氏、株式会社インターネットイニシアティブ佐藤龍氏、佐藤泰介氏、Auto-ID Lab. Japan 研究員金仙麗氏、株式会社 KDDI 神谷尚保氏、さらに、研究を進めるにあたり、ご助言をいただきました村井研究室のファカルティの皆様、論文の追い込み時期を共にした村井研究室同期の上原雄貴氏、永山翔太氏、波多野敏明氏、重松邦彦氏をはじめとする村井研究室の仲間に感謝いたします。ありがとうございました。最後に、これまで生活面において常に支えてくれた家族に深く感謝し、本論文の謝辞とさせていただきます。

参考文献

- [1] H., Hada, J., Mitsugi, "EPC based Internet of Things Architecture", IEEE RFID-TA, September, (2011), pp.519-524.
- [2] J. Mitsugi, H., Hada, T., Inaba, K., Ihara, G., Kojima, T., Kondo, "Enabling globally unique Sensor ID with dual-interface RF tag", IEEE Sensors, November, (2011), pp.1628-1631.
- [3] J. Mitsugi, S. Yonemura, H. Hada, T. Inaba, "Bridging UPnP and ZigBee with CoAP", ACM CoNext 2011 Workshop on Internet of Things and Service Platforms, (2011).
- [4] J.D. Hamilton, "Time Series Analysis", Princeton Univ. Press, (1994).
- [5] 吉岡 真史, "今次景気循環のピークの推計 —マルコフ・スイッチング・モデルによるアプローチ—", 経営と経済, vol.89(1), (2009), pp.123-134.
- [6] 大塚 芳宏, "マルコフ・スイッチング時空間自己回帰モデルによる日本の地域別の景気循環の計量分析", 日本統計学会誌. シリーズ J 40(2), (2011), pp.89-pp.109
- [7] 大江龍人, 岩淵志学, 益子宗, 田中二郎: "センサログを用いた e コマースのための購買支援システム", インタラクション 2011, pp.215-218, 2011.
- [8] 山口修平, 三次仁, 吉田守, 中村修, 村井純: "センサを利用したサプライ品消費量の自動予測", 信学技報, vol. 111, no. 342, SIS2011-47, pp. 43-46, 2011 年 12 月.
- [9] 高橋宏寿, "NTT ドコモにおける M2M コミュニケーションのビジネス展開", Internet Week 2011S4 ひろがるインターネット - Machine to Machine/Internet of Things の動向"
- [10] 水野幸男. 在庫管理入門. 日科技連出版社
- [11] Drew Gislason. ZIGBEE WIRELESS NETWORKING. Newnes
- [12] 涌井良幸. 道具としてのベイズ統計. 日本実業出版社
- [13] CM ビショップ. パターン認識と機械学習 上. シュプリンガー・ジャパン
- [14] CM ビショップ. パターン認識と機械学習 下. シュプリンガー・ジャパン
- [15] EPCglobal Inc. EPC Information Services (EPCIS) Version 1.0, 2007
- [16] EPCglobal Inc. EPCglobal Tag Data Standards Version 1.4, 2008

[17] FUJI XEROX. <http://www.fujixerox.co.jp>